

# PROYECTO FIN DE CARRERA

## INGENIERÍA INDUSTRIAL



**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA TÉRMICA Y DE FLUIDOS**

# **DISEÑO DE CLIMATIZACIÓN, INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA Y CONTROL PARA PISCINA CLIMATIZADA EN UN CENTRO DEPORTIVO**

**AUTOR: TANIA CANO YUSTE**

**OCTUBRE 2015**

**TUTOR: JESÚS GÓMEZ HERNÁNDEZ**

## Índice

|  |    |
|--|----|
| Índice .....   | 1  |
| Resumen .....  | 6  |
| Summary .....  | 7  |
| 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO .....   | 8  |
| 2. CASO DE ESTUDIO .....   | 11 |
| 2.1 Antecedentes .....   | 11 |
| 2.2 Descripción de la instalación .....  | 11 |
| 2.3 Datos climatológicos .....   | 14 |
| Condiciones exteriores de diseño .....   | 14 |
| Condiciones interiores de diseño .....   | 15 |
| 3. DEMANDA ENERGÉTICA DE LOS VASOS .....   | 17 |
| 3.1 Necesidad de deshumectación. ....  | 17 |
| Cálculo de la cantidad de agua evaporada .....   | 18 |
| 3.2 Cálculo de la demanda energética para el mantenimiento de la temperatura de las piscinas. .... | 20 |
| Pérdidas por evaporación del agua de los vasos ( $Q_e$ ) .....                                     | 20 |
| Pérdidas por radiación de calor ( $Q_r$ ) .....  | 21 |
| Pérdidas por convección ( $Q_c$ ) .....  | 22 |
| Pérdidas por transmisión ( $Q_T$ ) .....   | 23 |
| Pérdidas por renovación del agua de la piscina ( $Q_{RE}$ ) .....                                  | 24 |
| Pérdidas energéticas totales en las piscinas .....   | 27 |
| Potencia necesaria para la puesta en régimen de las piscinas .....                                 | 28 |
| 4. CÁLCULO DE CARGAS DEL LOCAL .....   | 30 |
| Condiciones exteriores de cálculo .....  | 31 |
| 4.1 Pérdidas de calor por cerramientos .....   | 33 |
| Fachada Sur .....  | 34 |
| Fachada Este .....   | 35 |
| Fachada Norte .....  | 36 |
| Fachada Oeste .....  | 36 |
| Cubierta zona vaso de entrenamiento .....  | 37 |

|  |    |
|--|----|
| Cubierta zona vaso de enseñanza .....                                  | 37 |
| Pérdidas Totales a través de cerramientos en invierno .....            | 38 |
| Pérdidas Totales a través de cerramientos en verano .....              | 38 |
| 4.2 Pérdidas por ventilación.....                                      | 38 |
| 5. DISEÑO DEL SISTEMA DE DESHUMECTACIÓN Y TRATAMIENTO DEL AIRE. ....   | 41 |
| 5.1 Caudal de aire exterior .....                                      | 43 |
| 5.2 Caudal de aire de renovación total del local .....                 | 45 |
| 5.3 Estudio psicométrico del funcionamiento de la deshumectadora ..... | 45 |
| Velocidad media del aire.....  | 46 |
| Caudal de aire.....  | 46 |
| Masa de aire en circulación.....                                       | 46 |
| Humedad específica de descarga.....                                    | 46 |
| Temperatura de mezcla y de descarga del aire en invierno .....         | 47 |
| Temperatura de mezcla y de descarga del aire en verano .....           | 47 |
| 5.4 Recuperación de calor del aire de extracción .....                 | 48 |
| 5.5 Selección del equipo .....   | 50 |
| 6. AGUA CALIENTE SANITARIA .....                                       | 52 |
| 6.1 Legionela .....  | 52 |
| 6.2 Dimensionado de la instalación .....                               | 53 |
| Caudales instantáneos .....  | 53 |
| Consumos .....   | 54 |
| Producción instantánea .....   | 55 |
| Acumulación.....   | 56 |
| 7. DISEÑO DEL SISTEMA AUXILIAR DE ENERGÍA, CALDERAS.....               | 61 |
| 7.1 Descripción de los nuevos equipos .....                            | 62 |
| 7.2 Consumo de energía y emisiones.....                                | 64 |
| 7.3 Sala de calderas.....  | 65 |
| Ventilación de la sala de calderas .....                               | 65 |
| Protección en la sala de calderas .....                                | 67 |
| Cálculo de la chimenea.....  | 69 |
| Cálculo vaso de expansión .....  | 70 |
| 7.4 Diseño de la instalación receptora de gas.....                     | 73 |
| Consumos previstos .....   | 73 |

|  |           |
|--|-----------|
| Descripción de la instalación receptora de gas.....  | 74        |
| Pruebas.....   | 74        |
| Modelos de cálculo .....   | 75        |
| Determinación de la velocidad.....   | 76        |
| Cálculos de la instalación de gas .....  | 77        |
| Esquema de contaje .....   | 78        |
| <b>8. INSTALACIÓN SOLAR .....</b>  | <b>79</b> |
| 8.1 Parámetros meteorológicos.....   | 82        |
| 8.2 Ubicación y configuración de los captadores.....   | 83        |
| 8.3 Método de cálculo.....   | 84        |
| 8.4 Características de los captadores solares. ....  | 85        |
| 8.5 DISEÑO DEL SISTEMA SOLAR PARA COBERTURA DEL A.C.S.....   | 85        |
| 8.5.1 Valoración de las cargas caloríficas para el calentamiento de agua destinada a la<br>producción de A.C.S. .... | 87        |
| 8.5.2 Valoración de la radiación solar incidente en la superficie inclinada del captador<br>o captadores.....        | 88        |
| 8.5.3 Método F-Chart.....  | 88        |
| 8.6 DISEÑO DEL SISTEMA SOLAR PARA COBERTURA DE LA CLIMATIZACIÓN DE LAS PISCINAS<br>.....                             | 96        |
| 8.6.1 Valoración de las cargas caloríficas para la climatización de las piscinas. ....                               | 97        |
| 8.6.2 Valoración de la radiación solar incidente en la superficie inclinada del captador<br>o captadores.....        | 98        |
| 8.6.3 Método F-Chart.....  | 99        |
| 8.7 Descripción general del esquema de la instalación solar .....  | 102       |
| Criterios generales de diseño.....   | 104       |
| Descripción básica del funcionamiento de la instalación solar.....   | 110       |
| Conexión con el sistema de apoyo.....  | 110       |
| Concepción del campo de captadores .....   | 111       |
| Conexiones hidráulicas del campo de captadores.....  | 112       |
| Comportamiento hidráulico del campo de captadores .....  | 113       |
| Suportación del campo de captadores .....  | 113       |
| Fluido de trabajo .....  | 114       |
| Grupo de bombeo solar .....  | 115       |
| Sistema de protección frente a sobrettemperatura .....   | 115       |



|   |            |
|---|------------|
| Dispositivos de seguridad del circuito primario .....   | 116        |
| Sistema de interacumulación solar .....   | 116        |
| Sistema de regulación .....   | 117        |
| Prevención de ruidos y vibraciones.....   | 118        |
| Protección del medio ambiente .....   | 118        |
| <b>9. DISEÑO DE LOS COMPONENTES DEL CIRCUITO HIDRÁULICO DE LA INSTALACIÓN.....</b>                      | <b>119</b> |
| 9.1 Intercambiadores .....  | 119        |
| Sistema de intercambio de energía entre el campo de colectores y los interacumuladores<br>solares. .... | 119        |
| Sistema de intercambio de energía entre el campo de colectores y las piscinas.....                      | 121        |
| Sistema de intercambio de energía entre las calderas y las piscinas.....                                | 122        |
| Sistema de intercambio de energía entre la caldera y el acumulador de ACS .....                         | 123        |
| 9.2 Tuberías .....  | 124        |
| 9.3 Válvulas .....  | 125        |
| 9.4 Bombas de circulación .....   | 127        |
| 9.5 Contadores .....  | 128        |
| <b>10. DISEÑO DEL CONTROL DE LA INSTALACIÓN.....</b>  | <b>129</b> |
| 10.1 Baterías Deshumectadora .....  | 133        |
| 10.2 Calentamiento de los vasos de las piscinas.....  | 134        |
| Vaso de entrenamiento.....  | 134        |
| Vaso de enseñanza .....   | 137        |
| 10.4 Calentamiento Circuito ACS .....   | 139        |
| 10.5 Calentamiento Circuito Radiador Planta Baja .....  | 139        |
| <b>11. ESTUDIO ECONÓMICO .....</b>  | <b>143</b> |
| Evaluación del sistema de apoyo .....   | 143        |
| Evaluación de la instalación solar térmica .....  | 144        |
| Subvenciones .....  | 145        |
| Amortización .....  | 145        |
| <b>12. CONCLUSIONES .....</b>   | <b>148</b> |
| <b>13. NORMATIVA Y BIBLIOGRAFÍA.....</b>  | <b>149</b> |
| <b>ANEXO I.-PRESUPUESTO .....</b>   | <b>150</b> |
| <b>ANEXO II.-PLANOS .....</b>   | <b>159</b> |
| <b>ANEXO III.-DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DE EQUIPOS.....</b>   | <b>160</b> |
| BOMBA DESHUMECTADORA.....   | 161        |

---

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| ACUMULADOR ACS .....           | 162 |
| CALDERAS .....                 | 163 |
| CAPTADORES SOLARES.....        | 164 |
| INTERACUMULADORES SOLARES..... | 165 |
| INTERCAMBIADORES DE CALOR..... | 166 |
| BOMBAS CIRCULADORAS.....       | 167 |

## Resumen

En el presente proyecto se ha realizado un estudio y diseño de la instalación térmica de la Ciudad Deportiva El Val acorde con las normativas actuales de eficiencia energética. El principal objetivo es determinar si existe una posible mejora energética de la instalación mediante el empleo de energías renovables, en concreto la energía solar térmica, lo que permitiría reducir el consumo de combustibles fósiles.

Los principales cambios en la instalación han sido la sustitución del combustible empleado, al pasar de calderas de gasóleo a calderas de condensación más eficientes que trabajan con gas natural, este cambio de combustible supone una reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> del 53,4%. Y el diseño de un sistema solar térmico que ahorra considerablemente el consumo de gas natural y en consecuencia un menor impacto ambiental.

En la primera parte del proyecto se han calculado las necesidades energéticas tanto de los vasos de las piscinas (112kW para mantenimiento y 206kW para la puesta a régimen) como del agua caliente sanitaria (115kW), y las necesidades de calefacción del recinto evaluando las cargas de local. La demanda anual de energía asciende a unos 805.600 kWh/año.

A continuación partiendo de los datos de las necesidades energéticas obtenidos en los primeros capítulos del proyecto, se ha realizado el estudio y diseño de la bomba deshumectadora, encargada de mantener las condiciones ambientales del recinto (29°C y 65% de humedad relativa) así como la renovación del aire interior requerido. Con la demanda energética de las piscinas y de ACS, se ha realizado el estudio del sistema de apoyo por medio de calderas de gas natural, y con ello el diseño del sistema solar por el método de cálculo F-Chart acorde a la normativa actual que exige una contribución mínima, en este caso del 60% para cada demanda estudiada.

La instalación solar formada por 150 captadores solares supone una reducción de la necesidad energética aportada por las calderas de unos 379.000 kWh/año, esta demanda se satisfará de manera gratuita a través de los captadores. Con la nueva instalación solar se consigue evitar la emisión de 80 Tn de CO<sub>2</sub> anuales. Este cambio junto con las nuevas calderas de gas natural conllevan un ahorro económico entorno a los 53.800 € anuales, lo que hace muy atractiva la inversión inicial.

## Summary

The present project studies and designs the thermal installation of Ciudad Deportiva El Val following the current Spanish legislation. The main objective is to determine whether the use of renewable energies, such as thermal solar panels, could improve the energetic performance of the installation.

The results showed that the change of the boilers, from diesel oil boilers to condensation boilers, which shows higher efficiencies since it works with natural gas, ensured a reduction of 53.4% CO<sub>2</sub> emissions. In this sense, the design of a thermal solar system that supports the natural gas boilers could reduce the environmental impact of the sport center.

In the first part of the project, the power needed for the swimming pools (112kW for maintenance and 206kW for the switching on process), the power needed for sanitary hot water (115kW), and the power supplied to the air heating system was estimated. The annual energy demand is 805,600 kWh/year. Regarding the dehumidifier system, it has been designed using the power consumptions that were described in the first chapters of the project. This system should maintain the ambient conditions to 29°C and 65% of relative humidity as well as the renovation of the facilities. F-Chart method was used to calculate the energy supplied by the solar system, which should be above a 60% of the total power. The solar installation is formed by 150 solar receivers and it can reduce the energy supplied by the boilers in 379,000kWh/year. Thus, employing the solar installation would reduce the emission of 80 Ton of CO<sub>2</sub>/year. Furthermore, the new design would reduce by 53.800 €/year the power consumption, which makes the initial investment very attractive.

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO

El presente proyecto tiene por objeto la mejora energética de las instalaciones existentes en la Piscina Cubierta EL VAL, ubicada en Alcalá de Henares. Para ello, se va a realizar un estudio y diseño de toda la instalación térmica acorde con las normativas actuales de eficiencia energética.

Este centro deportivo es propiedad del Excmo. Ayuntamiento de Alcalá de Henares. La instalación fue inaugurada en febrero de 1.983 y reformada en el año 2.000. Dicha reforma afectó a todo el edificio e instalaciones, adaptándola a las exigencias vigentes en ese momento de normativa, confort y funcionamiento, ampliando los espacios existentes destinados al funcionamiento de la piscina (vestuarios, guardarropa, almacenes, vestuarios de personal, oficinas, aulas polivalentes, cafetería – restaurante etc.). En concreto, en este proyecto, se diseñará y estudiará la producción de agua caliente sanitaria, la climatización de las dos piscinas existentes y el redimensionado de las calderas.

Con este proyecto se pretende realizar un diseño de la instalación que sea por una parte lo más eficiente posible desde el punto de vista energético y por otra parte que su utilización sea lo más confortable posible para los usuarios del edificio en cuestión, todo ello sin restar prestaciones ni garantías al diseño del mismo.

Desde el año 2000 que se hizo la última reforma, han entrado en vigor nuevas normativas sobre eficiencia energética y se han desarrollado equipos generadores mucho más eficientes que los que se encuentran en la instalación. Por ello, el presente proyecto propone y estudia las mejoras posibles en la instalación buscando reducir el consumo de combustibles fósiles y un mejor aprovechamiento de la energía aportando el mismo nivel de servicio, y que todo ello suponga un ahorro económico para el cliente. Se va a realizar el estudio de un sistema solar térmico cuyo fin será aportar la máxima energía posible que permita cubrir las necesidades energéticas del edificio reduciendo la dependencia de combustibles fósiles a la vez que se consigue reducir el impacto ambiental que estos generan. Para ello se seguirá el Código Técnico de la Edificación (CTE) [1], aprobado por el Real Decreto 314/2006, que obliga a los edificios de nueva construcción, así como a los edificios que realicen obras de ampliación, modificación, reforma o rehabilitación a la instalación de sistemas solares térmicos para la obtención de ACS siempre que exista una demanda de agua caliente sanitaria y/o climatización de piscina cubierta. También se realizará el diseño del sistema de energía auxiliar, para aquellos momentos en los que exista un déficit energético por parte de la instalación solar. Para ello se va a realizar un estudio de toda la instalación, y se sustituirán los equipos antiguos por equipos más eficientes y de mayores prestaciones, todo ello cubriendo las necesidades energéticas y manteniendo y/o mejorando el confort para los usuarios. Toda la instalación térmica del edificio estará completamente regulada por un sistema electrónico de regulación y control, el cuál actuará sobre los dispositivos de la instalación y almacenará todos los datos obtenidos para su posterior análisis en las labores de mantenimiento de la misma.

## La energía solar térmica

Para conseguir una mayor eficiencia energética en los edificios se proponen soluciones como las energías renovables. Una de las acciones que se promueven es el uso de la energía solar térmica como medio para reducir el consumo energético de fuentes no renovables y así reducir, en lo posible, la dependencia energética del exterior.

El aprovechamiento de la energía del sol, puede conseguirse de dos maneras: sin mediación de elementos mecánicos; es decir, de forma pasiva, o con mediación de elementos mecánicos; es decir, de forma activa.

La energía solar activa, a su vez, puede ser de baja temperatura, media temperatura y alta temperatura, según la captación sea directa, de bajo índice de concentración o de alto índice de concentración.

Las aplicaciones de baja temperatura, realizadas con colectores planos vidriados, los conocidos como paneles solares, son las más extendidas comercialmente. Por tanto se define la energía solar térmica o energía termosolar como el aprovechamiento de la energía del Sol para generar calor mediante el uso de colectores o paneles solares térmicos. Esta energía solar se encarga de calentar el agua u otro tipo de fluidos a temperaturas que podrán oscilar entre 40°C y 50°C, no debiendo superar los 80°C.

La potencia de la radiación varía según el momento del día, las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud. Se puede asumir que en buenas condiciones de irradiación, el valor es de aproximadamente 1000 W/m<sup>2</sup> en la superficie terrestre. A esta potencia se la conoce como irradiancia.

El proceso se basa en concentrar la energía que aporta el sol y transformarla en calor aprovechable para múltiples aplicaciones, como puede ser la generación de agua caliente sanitaria, calefacción de baja temperatura, climatización de piscinas o aire acondicionado mediante máquinas de absorción.

La energía solar posee múltiples ventajas respecto a las energías convencionales. Lo más destacable es que esta energía es la más respetuosa con el medio ambiente y sus recursos son inagotables, por lo que reduce la dependencia energética de energías fósiles y contaminantes. Las instalaciones solares térmicas no vierten ningún tipo de contaminante asociado a su operación, su energía se produce cercana al punto de consumo y son fáciles de instalar, por ello la energía solar térmica está perfectamente en línea con la sostenibilidad.

En España, la Oficina Española de Cambio Climático (OECC) fue creada mediante el Real Decreto 376/2001, de 6 de abril (BOE núm. 84, de 7 de abril de 2001), como órgano colegiado dependiente de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente para desarrollar las políticas relacionadas con el cambio climático. Esta se encarga de coordinar todas las entidades para reducir la emisión de gases de efecto invernadero, todas sus funciones se recogen en el artículo 3.1 del Real Decreto 401/2012, de 17 de febrero.

## Estructura del proyecto

El estudio de la instalación térmica de la Ciudad Deportiva El Val se ha realizado conforme a los siguientes capítulos:

- Capítulo 2, "Caso de Estudio": Recoge la descripción de la instalación objeto del presente proyecto incluyendo todos los datos relativos a la estructura y las consignas de temperatura y humedad de las piscinas, así como los datos climatológicos referentes a las condiciones interiores y exteriores del edificio.
- Capítulo 3, "Demanda energética de los vasos": En este capítulo se realiza el estudio de las necesidades energéticas de mantenimiento y puesta a régimen de las dos piscinas ubicadas en la Ciudad Deportiva.
- Capítulo 4, "Calculo de cargas del local": Este capítulo recoge el estudio de las necesidades energéticas de climatización del recinto donde se ubican las piscinas, se obtienen los datos necesarios para el diseño de la bomba deshumectadora.
- Capítulo 5, "Diseño del sistema de deshumectación": Mediante el ábaco psicométrico y con los datos obtenidos en el Capítulo 4, se diseña y selecciona la bomba deshumectadora necesaria en el recinto cuyo fin es el de mantener las consignas de temperatura y humedad del local así como asegurar la renovación del aire interior.
- Capítulo 6, "Agua Caliente Sanitaria": En este capítulo se realiza el estudio de las necesidades energéticas para la producción de agua caliente sanitaria para una estimación de 600 usuarios diarios y acumulador de ACS requerido.
- Capítulo 7, "Diseño del sistema auxiliar de energía, Calderas": Este capítulo recoge el diseño de la instalación de apoyo mediante calderas alimentadas por gas natural en función de los datos obtenidos en los Capítulos 3 y 5. Se seleccionan los nuevos equipos, se realiza el diseño de la instalación receptora de gas natural y la adaptación de la sala de calderas.
- Capítulo 8, "Instalación Solar": Estudio y diseño del sistema solar térmico conforme a la normativa vigente, para cubrir las necesidades energéticas de las piscinas y la producción de agua caliente sanitaria.
- Capítulo 9, "Diseño de los componentes del circuito hidráulico de la instalación": En este capítulo se seleccionan los intercambiadores requeridos por la instalación, el diámetro de las tuberías, las bombas y todos los componentes necesarios para el correcto funcionamiento.
- Capítulo 10, "Diseño del Control de la instalación": En este capítulo se describe el autómata programable empleado y su funcionamiento para el seguimiento de la instalación por medio de un software.
- Capítulo 11, "Estudio Económico": Estudio de la viabilidad del proyecto en su conjunto y su impacto económico y ambiental.
- Capítulo 12, "Conclusiones": Análisis global del proyecto y cumplimiento de los objetivos de eficiencia energética, así como la valoración final de su rentabilidad y atractivo económico de cara al cliente.

## 2. CASO DE ESTUDIO

### 2.1 Antecedentes

El edificio deportivo objeto del presente proyecto cuenta con servicio de calefacción, agua caliente sanitaria y calentamiento de vasos de las piscinas.

Toda la instalación térmica con su correspondiente instalación hidráulica y conductos, está ya realizada y lleva en funcionamiento desde la apertura del centro.

Dicha instalación cuenta con dos calderas de gasóleo de las marcas FERROLY y ROCA con una potencia total de 534,49 kW, que dan suministro a la calefacción de los vestuarios, calentamiento de los vasos y agua caliente sanitaria, donde esta última se acumula en un interacumulador de 1000l de la marca ANITAS. Además, para la climatización de las piscinas y mantener las condiciones interiores para el confort en el recinto hay una bomba de calor deshumectadora marca COMPISA, modelo UD-110, con capacidad de deshumectación de 110 kg/h.

La Ciudad Deportiva no cuenta con ningún sistema de aporte de energía mediante energías renovables. Por el uso y las diferentes actividades e instalaciones que ofrece, genera un gasto energético importante lo que conlleva a una necesidad de combustible anual considerable, entorno a unos 100.000 litros de gasóleo anuales y por supuesto el impacto económico que esto genera.

### 2.2 Descripción de la instalación

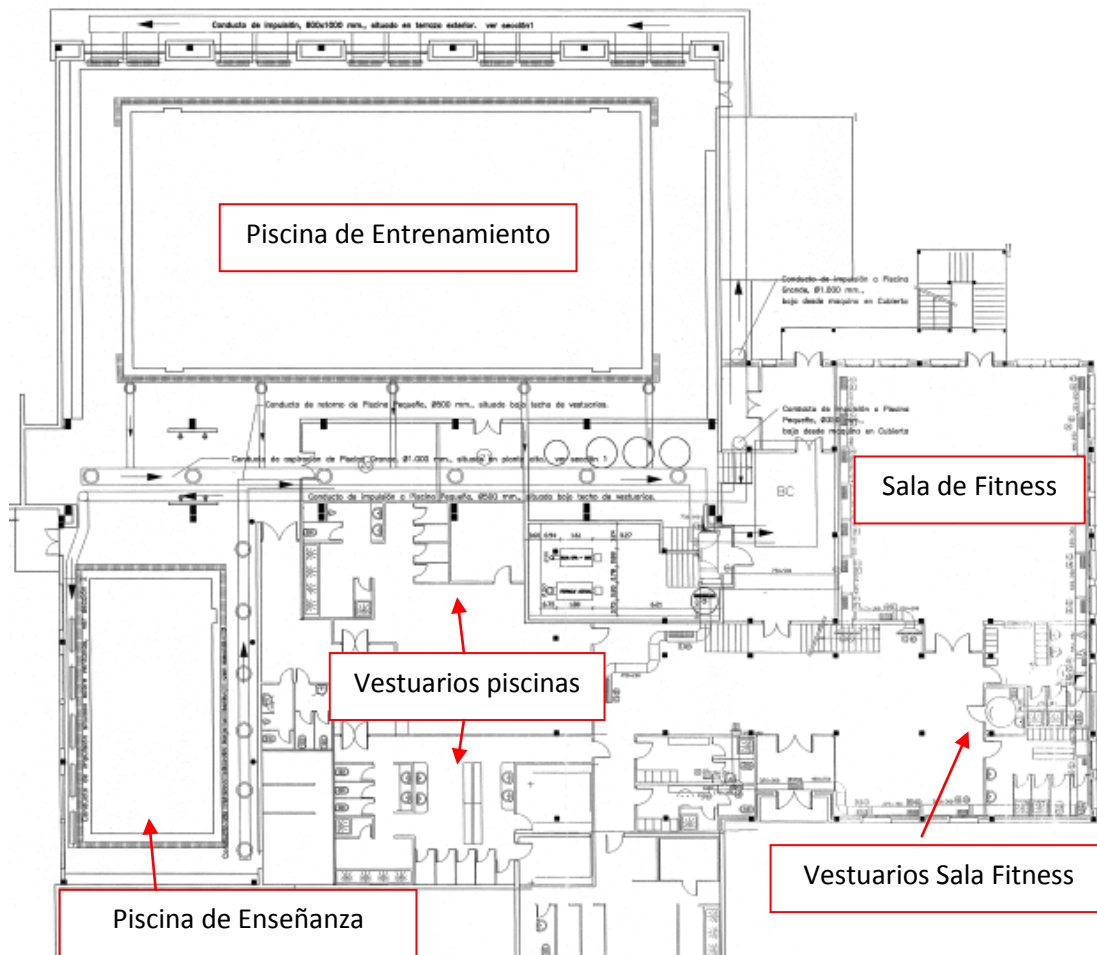
El edificio consta de dos plantas, además de la cubierta y de la planta sótano:

- Planta baja: cuenta con la mayoría de salas, se encuentran los vestuarios de las piscinas, las propias piscinas, una sala de fitness con sus correspondientes vestuarios, sauna, taquillas y el gabinete médico.
- Planta primera: donde se encuentran las oficinas, dos aulas, cafetería, almacén, acceso a gradas, aseos públicos y vestuarios del personal.
- Planta superior o cubierta: donde se encuentra el equipo de deshumectación (bomba de calor aire-aire), y donde se ubicará la nueva instalación de placas solares.
- Planta sótano: donde se ubica la sala de calderas del edificio así como la instalación hidráulica con los correspondientes colectores de impulsión y retorno.

Tal y como se ha comentado, la Piscina Cubierta El VAL cuenta con dos piscinas cubiertas climatizadas ubicadas en el mismo recinto y comunicadas, así como con los vestuarios destinados a los usuarios de las piscinas, equipados con sus correspondientes taquillas, baños



La siguiente imagen muestra la distribución de la planta baja del edificio:



### Figura 1 Distribución planta baja

- **Vaso de entrenamiento:**

- **Vaso de enseñanza:**

- Dimensiones: 6x12,5m
- Volumen de agua: 78m<sup>3</sup>
- Profundidad: 0,6-1,10m



Figura 2 Piscina de entrenamiento (izquierda) y piscina de enseñanza (derecha)

Las consignas de temperatura y condiciones interiores son las estipuladas por el cliente, dentro de los valores exigidos por normativa, y se muestran a continuación:

- **Vaso de entrenamiento:** 27°C

Al ser de uso colectivo, esta temperatura cubre las necesidades de los no nadadores cuyo rango está en 26 y 28°C, y a su vez no es una temperatura excesiva para los nadadores. Se busca el mayor confort posible para los distintos tipos de usuarios.

- **Vaso de enseñanza:** 28°C

Al ser de uso generalmente para el aprendizaje infantil, una temperatura aceptable se encuentra dentro del rango 28-30°C, una temperatura de 30°C es la máxima permitida por normativa y puede ser excesiva, además de producir un gasto energético mayor.

- **Condiciones interiores del recinto:**

- Temperatura del ambiente: 29°C
- Humedad relativa máxima: 65%

Estas consignas deberán ser mantenidas por la instalación térmica del edificio para asegurar el confort de los usuarios.

## 2.3 Datos climatológicos

### Condiciones exteriores de diseño

Las condiciones exteriores de temperatura y humedad relativa dependen de la situación del edificio en cuestión.

Atendiendo al “Código Técnico de la Edificación” [1], apéndice D, se puede observar que el edificio está situado en la zona climática D3. La letra D corresponde a la división de invierno y el número 3 a la división de verano.

| Capital de provincia         | Capital | Altura de referencia (m) | Desnivel entre la localidad y la capital de su provincia (m) |              |              |               |       |
|------------------------------|---------|--------------------------|--|--------------|--------------|---------------|-------|
|                              |         |                          | ≥200<br><400   | ≥400<br><600 | ≥600<br><800 | ≥800<br><1000 | ≥1000 |
| Albacete                     | D3      | 677                      | D2   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Alicante                     | B4      | 7                        | C3   | C1           | D1           | D1            | E1    |
| Almería                      | A4      | 0                        | B3   | B3           | C1           | C1            | D1    |
| Ávila                        | E1      | 1054                     | E1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Badajoz                      | C4      | 168                      | C3   | D1           | D1           | E1            | E1    |
| Barcelona                    | C2      | 1                        | C1   | D1           | D1           | E1            | E1    |
| Bilbao                       | C1      | 214                      | D1   | D1           | E1           | E1            | E1    |
| Burgos                       | E1      | 861                      | E1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Cáceres                      | C4      | 385                      | D3   | D1           | E1           | E1            | E1    |
| Cádiz                        | A3      | 0                        | B3   | B3           | C1           | C1            | D1    |
| Castellón de la Plana        | B3      | 18                       | C2   | C1           | D1           | D1            | E1    |
| Ceuta                        | B3      | 0                        | B3   | C1           | C1           | D1            | D1    |
| Ciudad real                  | D3      | 630                      | D2   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Córdoba                      | B4      | 113                      | C3   | C2           | D1           | D1            | E1    |
| Coruña (a)                   | C1      | 0                        | C1   | D1           | D1           | E1            | E1    |
| Cuenca                       | D2      | 975                      | E1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Donostia-San Sebastián       | C1      | 5                        | D1   | D1           | E1           | E1            | E1    |
| Girona                       | C2      | 143                      | D1   | D1           | E1           | E1            | E1    |
| Granada                      | C3      | 754                      | D2   | D1           | E1           | E1            | E1    |
| Guadalajara                  | D3      | 708                      | D1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Huelva                       | B4      | 50                       | B3   | C1           | C1           | D1            | D1    |
| Huesca                       | D2      | 432                      | E1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Jaén                         | C4      | 436                      | C3   | D2           | D1           | E1            | E1    |
| León                         | E1      | 346                      | E1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Lleida                       | D3      | 131                      | D2   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Logroño                      | D2      | 379                      | D1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Lugo                         | D1      | 412                      | E1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Madrid                       | D3      | 589                      | D1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Málaga                       | A3      | 0                        | B3   | C1           | C1           | D1            | D1    |
| Melilla                      | A3      | 130                      | B3   | B3           | C1           | C1            | D1    |
| Murcia                       | B3      | 25                       | C2   | C1           | D1           | D1            | E1    |
| Ourense                      | C2      | 327                      | D1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Oviedo                       | C1      | 214                      | D1   | D1           | E1           | E1            | E1    |
| Palencia                     | D1      | 722                      | E1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Palma de Mallorca            | B3      | 1                        | B3   | C1           | C1           | D1            | D1    |
| Palmas de Gran Canaria (las) | A3      | 114                      | A3   | A3           | A3           | B3            | B3    |
| Pamplona                     | D1      | 456                      | E1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Pontevedra                   | C1      | 77                       | C1   | D1           | D1           | E1            | E1    |
| Salamanca                    | D2      | 770                      | E1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Santa Cruz de Tenerife       | A3      | 0                        | A3   | A3           | A3           | B3            | B3    |
| Santander                    | C1      | 1                        | C1   | D1           | D1           | E1            | E1    |
| Segovia                      | D2      | 1013                     | E1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Sevilla                      | B4      | 9                        | B3   | C2           | C1           | D1            | E1    |
| Soria                        | E1      | 984                      | E1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Tarragona                    | B3      | 1                        | C2   | C1           | D1           | D1            | E1    |
| Teruel                       | D2      | 995                      | E1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Toledo                       | C4      | 445                      | D3   | D2           | E1           | E1            | E1    |
| Valencia                     | B3      | 8                        | C2   | C1           | D1           | D1            | E1    |
| Valladolid                   | D2      | 704                      | E1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Vitoria-Gasteiz              | D1      | 512                      | E1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Zamora                       | D2      | 617                      | E1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Zaragoza                     | D3      | 207                      | D2   | E1           | E1           | E1            | E1    |

Figura 3 Zonas climáticas por provincias, Fuente CTE apéndice D.

Además, para fijar las condiciones exteriores de temperatura y humedad en proyectos de climatización, es preciso guiarse por la norma UNE\_100001\_2001 [3], en la que se indican unas condiciones exteriores para cada provincia y por la guía técnica del IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), denominada “Condiciones climáticas exteriores de proyecto” publicada en 2010 [4].

### Calidad de aire exterior

La calidad del aire exterior (ODA) se clasifica de acuerdo con los siguientes niveles según indica el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios, RITE [2]:

- **ODA 1:** aire puro que se ensucia sólo temporalmente (por ejemplo polen).
- **ODA 2:** aire con concentraciones altas de partículas y, o de gases contaminantes.
- **ODA 3:** aire con concentraciones muy altas de gases contaminantes (ODA 3G) y, o de partículas (ODA 3P).

Por la ubicación del edificio, la calidad del aire exterior la clasificaremos en un nivel ODA 2, aire con concentraciones altas de partículas y, o de gases contaminantes.

### Condiciones interiores de diseño

Para la temperatura interior se ha tenido en cuenta el apartado IT 1.1.4.1.2 del RITE. Según dicha instrucción técnica, se exige una calidad térmica del ambiente y para ello hay que mantener las condiciones interiores de diseño de temperatura operativa y humedad relativa entre los distintos valores.

Se han de cumplir los siguientes puntos, exigidos por el RITE:

- Se considera satisfecha la exigencia de calidad térmica del ambiente en el diseño y dimensionado de la instalación térmica, si los parámetros que definen el bienestar térmico, como la temperatura seca del aire y operativa, humedad relativa, temperatura radiante media del recinto, velocidad media del aire e intensidad de la turbulencia se mantienen en la zona ocupada dentro de los valores establecidos.
- La temperatura seca del aire de los locales que alberguen piscinas climatizadas, se mantendrá entre 1 °C y 2 °C por encima de la del agua del vaso con un máximo de 30 °C. La humedad relativa del local se mantendrá siempre por debajo del 65 %, para proteger los cerramientos de la formación de condensaciones.

### **Categorías de calidad del aire interior en función del uso de los edificios**

Según el RITE, en función del uso del edificio o local, la categoría de calidad del aire interior (IDA) que se deberá alcanzar será, como mínimo, la siguiente:

- **IDA 1** (aire de óptima calidad): hospitales, clínicas, laboratorios y guarderías.
- **IDA 2** (aire de buena calidad): oficinas, residencias (locales comunes de hoteles y similares, residencias de ancianos y de estudiantes), salas de lectura, museos, salas de tribunales, aulas de enseñanza y asimilables y piscinas.
- **IDA 3** (aire de calidad media): edificios comerciales, cines, teatros, salones de actos, habitaciones de hoteles y similares, restaurantes, cafeterías, bares, salas de fiestas, gimnasios, locales para el deporte (salvo piscinas) y salas de ordenadores.

En el caso que concierne a este proyecto, la calidad del aire interior del edificio se clasifica según una IDA 2, aire de buena calidad.

### 3. DEMANDA ENERGÉTICA DE LOS VASOS

Los vasos de las piscinas están en continua interacción con el entorno que les rodea, el ambiente y los usuarios. Esto conlleva una serie de pérdidas que suponen una disminución de la temperatura del agua de los vasos que deberán ser contrarrestadas por los equipos térmicos de los que se compone la instalación térmica.

A continuación se va a realizar el estudio energético de las necesidades de los vasos para el mantenimiento de la temperatura del agua de las piscinas.

#### 3.1 Necesidad de deshumectación.

La interacción entre el agua y el aire en régimen turbulento provocado por el chapoteo favorece la evaporación del agua de los vasos de las piscinas. Por tanto, la evaporación en la lámina de agua aumentará de forma directamente proporcional al número de bañistas y su actividad. Una elevada velocidad de aire sobre la lámina de agua también favorecerá el fenómeno de la evaporación, esto es otro punto a tener en cuenta en el confort de los bañistas. Se tendrá en cuenta igualmente el efecto de las playas mojadas de la piscina y el agua que porten en la piel los bañistas al salir de la piscina.

Existen asimismo dos factores más a considerar a la hora de calcular el incremento de humedad absoluta, que suponen un aporte de humedad extra al ambiente. Estos factores son, la carga latente de los propios bañistas y del público en general, llegando a ser un factor importante si la ocupación de las gradas es elevada como sucede en las piscinas de competición, y el aire exterior de ventilación e infiltraciones, que en algunos casos puede tener más humedad absoluta que el aire ambiente interior incrementando la humedad del ambiente interior. Sin embargo, en la mayoría de los casos, se produce justo el efecto contrario ayudando a deshumectar el ambiente al estar el aire exterior más seco que el interior.

Por ello, el objetivo será alcanzar y mantener las siguientes condiciones:

- Temperatura y humedad ambientales adecuadas.
- La temperatura del agua del vaso de las piscinas.
- Garantizar el aire de ventilación mínimo higiénico.
- Evitar las corrientes de aire en la zona de ocupación y sobre la lámina de agua.
- Evitar que se produzcan condensaciones en los distintos cerramientos como consecuencia de la alta humedad absoluta y relativa del aire ambiente interior.

## Cálculo de la cantidad de agua evaporada

Existen diversas fórmulas para el cálculo de la cantidad de agua evaporada. Las dos fórmulas más utilizadas para este cálculo se detallan en este punto, una de ellas es la más usada (fórmula de Bernier), también la elegida para este proyecto y la segunda (fórmula de Carreras) que es una de las más completas.

- **Fórmula de Bernier**

Contempla la suma de dos términos: evaporación asociada a la piscina sin agitación (coeficiente 16) y evaporación asociada a la agitación de los ocupantes (coeficiente 133n).

$$Me = S \cdot [(16 + 133 \cdot n) \cdot (We - Ga \cdot Was)] + 0,1 \cdot N$$

- **Fórmula de Carreras**

Considera la velocidad del aire.

$$Me = 9 \cdot (We - Wa) \cdot (1 + V/1,20) \cdot S + 0,42 \cdot n + 0,08 \cdot N$$

Se puede observar, en ambas expresiones, que el agua evaporada depende de la diferencia entre la humedad absoluta del aire saturado a la temperatura del agua y la humedad absoluta del aire saturado a la temperatura del aire interior o ambiente. Por tanto, cuanto mayor sea la temperatura del agua, mayor será su humedad absoluta en la saturación, aumentando la cantidad de agua evaporada como consecuencia. Asimismo, si la temperatura del aire interior y/o la humedad relativa decrecen, la humedad absoluta disminuye aumentando la evaporación. Es conveniente que la temperatura del agua no sea excesivamente alta y que la temperatura del aire sea siempre mayor que la del agua para que las condiciones de confort y evaporación sean las óptimas.

También, como ya se ha comentado, el número de bañistas es otro factor importante y queda reflejado en ambas expresiones.

Aplicando la fórmula de Bernier:

$$Me = S * [(16 + 133 * n) * (We - Ga * Was)] + 0,1 * N$$

Donde:

**Me**, Flujo másico de agua evaporada (kg/h)

**S**, Superficie de la lámina de agua de la piscina (m<sup>2</sup>)

**We**, Humedad absoluta del aire saturado a la temperatura del agua de la piscina (kg<sub>agua</sub>/kg<sub>aire</sub>)

**Was**, Humedad absoluta del aire saturado a la temperatura del aire ambiente interior ( $\text{kg}_{\text{agua}}/\text{kg}_{\text{aire}}$ )

**Ga**, Grado de saturación

**n**, Número de nadadores por  $\text{m}^2$  de superficie de lámina de agua.

**N**, Número total de espectadores.

Y tomando como condiciones de cálculo los siguientes valores:

- Número de nadadores en la piscina principal: 50
- Número de nadadores en la piscina complementaria: 15
- Número de espectadores en el vaso principal: 30
- Número de espectadores en el vaso pequeño: 0
- Área del vaso principal:  $312,5 \text{ m}^2$
- Área del vaso complementario:  $72 \text{ m}^2$
- Temperatura del aire ambiente:  $29^\circ\text{C}$
- Temperatura del vaso de piscina principal:  $27^\circ\text{C}$
- Temperatura del vaso de piscina complementaria:  $28^\circ\text{C}$
- Humedad relativa: 65%

Se obtiene el resultado de la cantidad de agua evaporada:

|                           | VASO<br>ENTRENAMIENTO | VASO<br>ENSEÑANZA |
|---------------------------|-----------------------|-------------------|
| <b>S</b>                  | 312,5                 | 75,0              |
| <b>We</b>                 | 0,02270               | 0,02412           |
| <b>Was</b>                | 0,02563               | 0,02563           |
| <b>Ga</b>                 | 0,65                  | 0,65              |
| <b>n</b>                  | 0,16                  | 0,20              |
| <b>N</b>                  | 30                    | 0                 |
| <b>T<sup>a</sup> vaso</b> | 27                    | 28                |
| <b>Me</b>                 | <b>73,37</b>          | <b>23,84</b>      |

**Me<sub>TOTAL</sub> = 97,21 kg/h**

**Tabla 3.1 Masa de agua evaporada en cada vaso**

A modo de comparación, empleando la fórmula de Carreras con una velocidad del aire de  $0,22 \text{ m/s}$  y las mismas condiciones de cálculo anteriores, obtenemos un valor de evaporación de  $66,33 \text{ kg/h}$ . Al ser este un valor menos restrictivo que el obtenido mediante la fórmula de Bernier, se continuarán los cálculos considerando una masa evaporada de  $97,21 \text{ kg/h}$ . Este valor es muy importante a la hora de diseñar y elegir la deshumectadora que se instalará, ya



que deberá contrarrestar toda la humedad que adquiera el recinto por la evaporación continua del agua de las piscinas, manteniendo la consigna de humedad del 65%.

### 3.2 Cálculo de la demanda energética para el mantenimiento de la temperatura de las piscinas.

Para poder mantener la temperatura de los vasos en las consignas establecidas y poder actuar desde el punto de vista del ahorro energético, es preciso conocer las diferentes pérdidas de calor:

- Evaporación de agua del vaso ( $Q_e$ ).
- Radiación de calor por diferencias de temperatura ( $Q_r$ ).
- Convección de calor entre agua y aire ( $Q_c$ ).
- Renovación del agua del vaso ( $Q_{re}$ ).
- Transmisión de calor del agua del vaso ( $Q_t$ ).

Para ello se han establecido previamente los diferentes factores que influyen en la temperatura de los vasos:

- Temperatura del agua de la piscina.
- Temperatura del aire ambiente.
- Humedad del aire ambiente.
- Ocupación de la piscina.
- Características constructivas del vaso.

Se analizarán las diferentes pérdidas de manera independiente.

#### Pérdidas por evaporación del agua de los vasos ( $Q_e$ )

En el proceso de evaporación del agua de las piscinas se absorbe calor, por lo que se produce un enfriamiento del resto del agua de la piscina que no se evapora disminuyendo la temperatura del agua del vaso. Así, cuanto mayor sea la evaporación, mayor será el enfriamiento del agua de la piscina, y mayores serán las necesidades que habrá que aportar para mantener la temperatura de la misma.

Se emplea la siguiente fórmula para calcular las pérdidas por evaporación:

$$Q_e (W) = S * [(16 + 133 * n) * (W_e - G_a * W_{as})] * C_v$$

Siendo:

**Cv (Wh/kg)**, Calor latente de evaporación. Este valor se obtiene mediante la siguiente fórmula para las diferentes temperaturas de los vasos, siendo  $T_{ag}$  la temperatura del agua:

$$Cv \left( \frac{Wh}{Kg} \right) = \left( 347 * (374,15 - T_{ag})^{\frac{1}{3}} - 2 \right) * \frac{1000}{3600}$$

Por tanto, en las condiciones dadas, el calor latente de evaporación del agua para una temperatura de 27°C es de 676,9 Wh/kg y para 28°C de 676,2 Wh/kg.

|            | VASO<br>ENTRENAMIENTO | VASO<br>ENSEÑANZA |
|------------|-----------------------|-------------------|
| Me [kg/h]  | 70,37                 | 23,84             |
| Cv [Wh/kg] | 676,9                 | 676,2             |
| Qe [W]     | 47.634,69             | 16.118,10         |

$$Qe_{TOTAL} = 63.752,79 \text{ W}$$

Tabla 3.2 Pérdidas por evaporación de cada vaso

### Pérdidas por radiación de calor (Qr)

Las pérdidas por radiación son las existentes entre el agua de los vasos y los cerramientos que rodean los mismos. En el caso de las piscinas cubiertas, los cerramientos deben encontrarse a muy pocos grados por debajo (dependiendo del tipo de cerramiento y coeficiente de transmisión de calor) de la del aire ambiente y por lo tanto, a muy poca diferencia de la del agua. Por ello, estas pérdidas de calor generalmente se consideran despreciables.

Si se realizase un cálculo preciso habría que determinar los factores de forma del recinto, pero al ser las pérdidas por radiación muy pequeñas en comparación con el resto de pérdidas, se fijará una temperatura constante para todos los cerramientos, y se aplicará la expresión genérica de transmisión de calor por radiación. Si la temperatura más baja del agua es de 27°C, suponemos que los cerramientos están a una temperatura inferior.

Aplicando la ecuación general de transmisión de calor por radiación:

$$Q_r (W) = S * \sigma * \varepsilon * (T_{ag}^4 - T_c^4)$$

Siendo:

**S**, Superficie (m<sup>2</sup>)

**$\sigma$** , Constante de Stefan-Boltzmann,  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

**$\epsilon$** , Emisividad de la superficie, 0,95 para el agua.

**Tag**, Temperatura del agua de la piscina.

**Tc**, Temperatura de los cerramientos. Se considera una temperatura fija de 25°C.

|                              | VASO<br>ENTRENAMIENTO | VASO<br>ENSEÑANZA |
|------------------------------|-----------------------|-------------------|
| <b>S</b>                     | 312,5                 | 75,0              |
| <b><math>\sigma</math></b>   | 5,67E-08              | 5,67E-08          |
| <b><math>\epsilon</math></b> | 0,95                  | 0,95              |
| <b>Tag</b>                   | 300                   | 301               |
| <b>Tc</b>                    | 298                   | 298               |
| <b>Qr</b>                    | 3.599,69              | 1.302,42          |

$$Q_{r \text{ TOTAL}} = 4.902,11 \text{ W}$$

Tabla 3.3 Pérdidas por radiación de cada vaso

### Pérdidas por convección ( $Q_c$ )

Las pérdidas por convección son las existentes entre el aire que rodea a las piscinas y el agua de las mismas. La transferencia de calor por convección consta de dos mecanismos, la transferencia de energía debido al movimiento aleatorio molecular (difusión) y por el movimiento macroscópico del fluido (advección). El movimiento del fluido en presencia de un gradiente de temperaturas es lo que produce la transferencia de calor.

Las pérdidas por convección en el caso de piscinas cubiertas son prácticamente despreciables. Esto es debido a que la diferencia de temperatura con la que se trabaja en las piscinas climatizadas es muy pequeña, por normativa la temperatura del ambiente será entre 2 y 4 °C superior a la del vaso. Además, al ser la temperatura del recinto superior a la del agua se da el caso de tener una ganancia en lugar de pérdidas. No obstante, a continuación se estima el valor de esta ganancia para comprobar si es despreciable.

$$Q_{\text{CONVECCIÓN}} = h * (Ta - Tag) * S$$

Siendo **Ta** la temperatura del ambiente y **Tag** la temperatura del agua del vaso.

$h$  es el coeficiente de transferencia de calor por convección en  $W/m^2K$  que para condiciones de aire con poco movimiento es:

$$h = 0,6246 * (Ta - Tag)^{1/3}$$

|     | VASO<br>ENTRENAMIENTO | VASO<br>ENSEÑANZA |
|-----|-----------------------|-------------------|
| Tag | 27                    | 28                |
| Ta  | 29                    | 29                |
| S   | 312,5                 | 75,0              |
| Qc  | 491,84                | 46,85             |

$$Qc_{TOTAL} = 538,69 \text{ W (ganancias)}$$

Tabla 3.4 Pérdidas por convección de cada vaso

### Pérdidas por transmisión ( $Q_T$ )

Las pérdidas por conducción son las que se producen a través de las paredes y el fondo de las piscinas. Estas pérdidas dependen de las características constructivas del vaso y del coeficiente de transmisión térmica del material. El vaso de la piscina está construido en hormigón dentro del propio sótano del edificio.

$$Q_T = C_T * S * (Tag - Tex)$$

Siendo:

$C_T$ , Coeficiente de transmisión de muros y solería ( $1,5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ) para la capa de azulejos y base de hormigón.

$S$ , Superficie de cerramiento del vaso ( $m^2$ ). Para ello emplearemos la profundidad media (2m, vaso grande; 0,85m vaso pequeño), teniendo una superficie de  $462,5 \text{ m}^2$  para el vaso grande y  $106,45 \text{ m}^2$  para el vaso pequeño.

$T_{ag}$ , Temperatura del agua de las piscinas ( $^\circ\text{C}$ )

$T_{ex}$ , temperatura exterior al cerramiento ( $20,8^\circ\text{C}$ ). Dato extrapolado ya que es algo superior a la de la tierra, próxima a la superficie.

|     | VASO<br>ENTRENAMIENTO | VASO<br>ENSEÑANZA |
|-----|-----------------------|-------------------|
| Ct  | 1,5                   | 1,5               |
| S   | 462,5                 | 106,45            |
| Tag | 27                    | 28                |
| Tex | 20,8                  | 20,8              |
| Qt  | 4.301,25              | 1.149,66          |

$$Q_{T \text{ TOTAL}} = 5.450,91 \text{ W}$$

Tabla 3.5 Pérdidas por transmisión a través de paredes y fondo de cada vaso

### Pérdidas por renovación del agua de la piscina ( $Q_{RE}$ )

Por normativa, debido a razones higiénico-sanitarias, diariamente se ha de reponer un 5% del volumen total del agua del vaso de la piscina. Esta renovación supone que las pérdidas de calor por este concepto sean importantes, y en todo caso dependerán de la temperatura del agua proveniente de la red y de la temperatura del agua de la piscina que se pretenda alcanzar. Estas pérdidas diarias se pueden calcular utilizando la siguiente fórmula:

$$Q_{RE} (W) = V_{RE} * \rho * C_P * (T_{ag} - T_{red})/24$$

$V_{RE}$ , Volumen de agua de renovación ( $m^3$ )

$\rho$ , Densidad del agua ( $1000 \text{ kg}/m^3$ )

$C_P$ , Calor específico del agua ( $1,16 \text{ Wh}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$ )

$T_{ag}$ , Temperatura del agua

$T_{red}$ , Temperatura mínima del agua de red ( $6^\circ\text{C}$ ), la temperatura del agua de red se ha obtenido del Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura [5]. De esta manera la instalación queda sobredimensionada, ya que solo hay dos meses al año donde el agua de red tenga esa temperatura, pero así queda asegurado que los aparatos destinados al aporte de calor sean capaces de asumir dicha potencia.

|        | VASO<br>ENTRENAMIENTO | VASO<br>ENSEÑANZA |
|--------|-----------------------|-------------------|
| Vre    | 33,55                 | 3,9               |
| $\rho$ | 1.000                 | 1.000             |
| $C_p$  | 1,16                  | 1,16              |
| Tag    | 27                    | 28                |
| Tred   | 6                     | 6                 |
| Qre    | 34.053,25             | 4.147             |

$$Q_{re\ TOTAL} = 38.200,25 \text{ W/día}$$

Tabla 3.6 Pérdidas por renovación del agua de los vasos

La temperatura del agua de la red varía de manera significativa en los diferentes meses del año. Al ser este un valor importante comparado con el resto de pérdidas, se muestra el cálculo mensual para tener una visión más real de las pérdidas por ese concepto y el cual, además, será útil para los cálculos de la energía solar.

#### Vaso de entrenamiento

| Mes        | Vre<br>[m <sup>3</sup> ] | D<br>[kg/m <sup>3</sup> ] | Ce<br>[Wh/kg·°C] | Tag<br>[°C] | Tred<br>[°C] | Qre<br>[W] |
|------------|--------------------------|---------------------------|------------------|-------------|--------------|------------|
| ENERO      | 33,55                    | 1000                      | 1,16             | 27          | 6            | 34.053,25  |
| FEBRERO    | 33,55                    | 1000                      | 1,16             | 27          | 7            | 32.431,67  |
| MARZO      | 33,55                    | 1000                      | 1,16             | 27          | 9            | 29.188,50  |
| ABRIL      | 33,55                    | 1000                      | 1,16             | 27          | 11           | 25.945,33  |
| MAYO       | 33,55                    | 1000                      | 1,16             | 27          | 12           | 24.323,75  |
| JUNIO      | 33,55                    | 1000                      | 1,16             | 27          | 13           | 22.702,17  |
| JULIO      | 33,55                    | 1000                      | 1,16             | 27          | 14           | 21.080,58  |
| AGOSTO     | 33,55                    | 1000                      | 1,16             | 27          | 13           | 22.702,17  |
| SEPTIEMBRE | 33,55                    | 1000                      | 1,16             | 27          | 12           | 24.323,75  |
| OCTUBRE    | 33,55                    | 1000                      | 1,16             | 27          | 11           | 25.945,33  |
| NOVIEMBRE  | 33,55                    | 1000                      | 1,16             | 27          | 9            | 29.188,50  |
| DICIEMBRE  | 33,55                    | 1000                      | 1,16             | 27          | 6            | 34.053,25  |

Tabla 3.7 Pérdidas por renovación del agua del vaso de entrenamiento en función de la temperatura del agua red

**Vaso de enseñanza**

| Mes        | Vre<br>[m <sup>3</sup> ] | D<br>[kg/m <sup>3</sup> ] | Ce<br>[Wh/kg·°C] | Tag<br>[°C] | Tred<br>[°C] | Qre<br>[W] |
|------------|--------------------------|---------------------------|------------------|-------------|--------------|------------|
| ENERO      | 3,9                      | 1000                      | 1,16             | 28          | 6            | 4147       |
| FEBRERO    | 3,9                      | 1000                      | 1,16             | 28          | 7            | 3958,5     |
| MARZO      | 3,9                      | 1000                      | 1,16             | 28          | 9            | 3581,5     |
| ABRIL      | 3,9                      | 1000                      | 1,16             | 28          | 11           | 3204,5     |
| MAYO       | 3,9                      | 1000                      | 1,16             | 28          | 12           | 3016       |
| JUNIO      | 3,9                      | 1000                      | 1,16             | 28          | 13           | 2827,5     |
| JULIO      | 3,9                      | 1000                      | 1,16             | 28          | 14           | 2639       |
| AGOSTO     | 3,9                      | 1000                      | 1,16             | 28          | 13           | 2827,5     |
| SEPTIEMBRE | 3,9                      | 1000                      | 1,16             | 28          | 12           | 3016       |
| OCTUBRE    | 3,9                      | 1000                      | 1,16             | 28          | 11           | 3204,5     |
| NOVIEMBRE  | 3,9                      | 1000                      | 1,16             | 28          | 9            | 3581,5     |
| DICIEMBRE  | 3,9                      | 1000                      | 1,16             | 28          | 6            | 4147       |

Tabla 3.8 Pérdidas por renovación del agua del vaso de enseñanza en función de la temperatura del agua de red

Haciendo un total por mes de:

| PÉRDIDAS POR<br>RENOVACIÓN TOTALES<br>[W] |           |
|---|-----------|
| ENERO                                     | 38.200,25 |
| FEBRERO                                   | 36.390,17 |
| MARZO                                     | 32.770,00 |
| ABRIL                                     | 29.149,83 |
| MAYO                                      | 27.339,75 |
| JUNIO                                     | 25.529,67 |
| JULIO                                     | 23.719,58 |
| AGOSTO                                    | 25.529,67 |
| SEPTIEMBRE                                | 27.339,75 |
| OCTUBRE                                   | 29.149,83 |
| NOVIEMBRE                                 | 32.770,00 |
| DICIEMBRE                                 | 38.200,25 |

Tabla 3.9 Pérdidas de renovación mensuales conjuntas de los dos vasos

### Pérdidas energéticas totales en las piscinas

A modo resumen, a continuación se muestran todas las pérdidas anteriormente detalladas, dando como resultado la potencia calorífica de mantenimiento de las piscinas.

| PÉRDIDAS DE CALOR DEL AGUA DEL VASO | VASO ENTRENAMIENTO [W] | VASO ENSEÑANZA [W] |
|-------------------------------------|------------------------|--------------------|
| EVAPORACIÓN                         | 47.634,69              | 16.118,10          |
| RADIACION                           | 3.599,69               | 1.302,42           |
| CONVECCION                          | 491,84                 | 46,85              |
| TRANSMISION                         | 4.301,25               | 1.149,66           |
| RENOVACION AGUA                     | 34.053,25              | 4.147,00           |
| <b>TOTAL PÉRDIDAS POR VASO</b>      | <b>89.097,04</b>       | <b>22.670,34</b>   |

**Total Pérdidas de Calor = 111.767,37 W**

**Tabla 3.10 Pérdidas energéticas totales para el mantenimiento de las piscinas**

Todas estas pérdidas de calor de las piscinas provocan el enfriamiento continuo de los vasos, por tanto se ha de diseñar un equipo que aporte la energía necesaria para contrarrestar los 112 kW de pérdidas. Se buscará que el sistema solar que se va a diseñar para la instalación, sea capaz de cubrir la mayor parte de estas pérdidas además de dar suministro para el agua caliente sanitaria, dejando las calderas como sistema de apoyo para cuando no sea posible cubrir el 100% de las demandas.

El siguiente gráfico muestra la distribución de las pérdidas conjuntas de las piscinas, como se puede observar la pérdida más importante es la de evaporación y a continuación las pérdidas por renovación, hay que tener en cuenta que en función de la temperatura del agua de red estas pérdidas varían de manera significativa, se ha realizado para el mes más desfavorable.



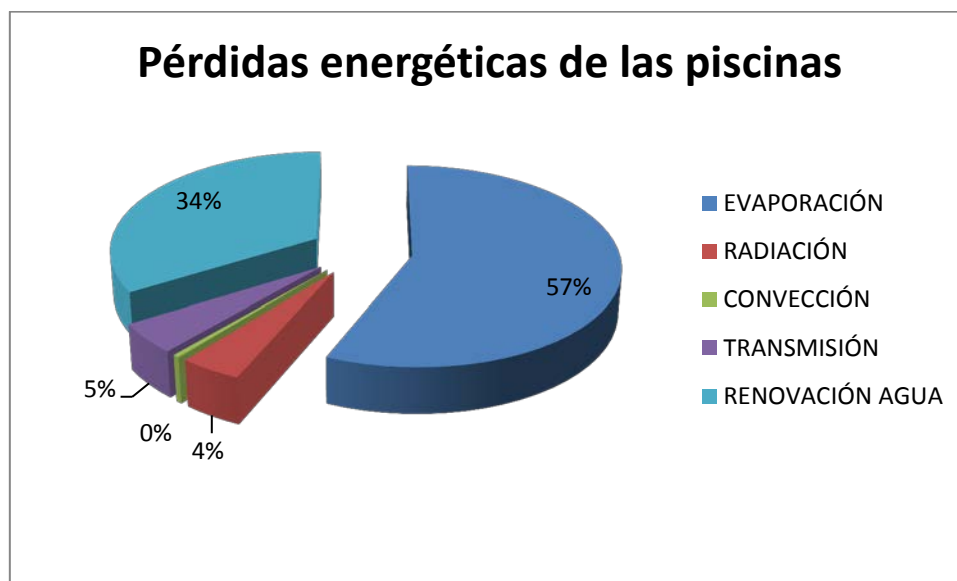


Figura 4 Gráfico de las pérdidas energéticas en las piscinas

### Potencia necesaria para la puesta en régimen de las piscinas

A parte de todas las pérdidas que se dan en los vasos de las piscinas, es importante tener en cuenta la potencia necesaria para llenar los vasos de las piscinas por completo, ya que esta puede ser superior a todas las potencias anteriormente calculadas. Esta potencia es la más importante ya que será la que determine la potencia de los aparatos a instalar.

Cuando haya que llenar el vaso de la piscina completamente con agua de la red, la potencia calorífica necesaria suele ser superior a la de mantenimiento. Para calcular la potencia de puesta a régimen se emplea la siguiente expresión:

$$Q_{PR} = V * \rho * C_e * (T_{ag} - T_r)/t$$

Siendo:

$Q_{PR}$ , Potencia de puesta en régimen (W)

$V$ , Volumen total de la piscina ( $m^3$ )

$\rho$ , Densidad del agua ( $1000 \text{ kg}/m^3$ )

$C_p$ , Calor específico del agua ( $1,16 \text{ Wh}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$ )

$T_{ag}$ , Temperatura del agua ( $^\circ\text{C}$ )

**Tred**, Temperatura llenado de red (10°C). Utilizaremos la temperatura media de red ya que las piscinas se suelen poner a régimen durante los meses en los que permanece cerrada, los meses de agosto y septiembre.

**t**, Tiempo de puesta en régimen (h) será de 3 días, 72h. Se estipulan tres días de puesta en marcha para que la piscina permanezca cerrada el menor tiempo posible por si se diese el caso que en la temporada de apertura hubiese que reponer el agua de todo el vaso por motivos excepcionales, pero sin que conlleve una potencia demasiado excesiva para ello.

Para esta situación, se busca que la potencia necesaria tenga un valor lo más cercano posible a la suma total de todas las pérdidas que existen en los vasos de la piscina, evitando de esta forma utilizar aparatos de mayor potencia de la necesaria.

Durante la puesta a régimen la piscina permanecerá cerrada al público. Dicha puesta a régimen se realizará cada vez que sea necesaria tanto por motivos higiénicos o de normativa.

|     | VASO<br>ENTRENAMIENTO<br>[W] | VASO<br>ENSEÑANZA<br>[W] |
|-----|------------------------------|--------------------------|
| V   | 671                          | 78                       |
| D   | 1000                         | 1000                     |
| Ce  | 1,16                         | 1,16                     |
| Tag | 27                           | 28                       |
| Tr  | 10                           | 10                       |
| t   | 72                           | 72                       |
| Qpr | 183.779,44                   | 22.620,00                |

**Total= 206.399,44 W**

Tabla 3.11 Potencia necesaria para la puesta a régimen de las piscinas

Esta potencia será la que limite el cálculo de los intercambiadores de los vasos de las piscinas con el aporte de las calderas.

## 4. CÁLCULO DE CARGAS DEL LOCAL

Por cálculo de cargas se entiende el proceso de determinar la cantidad de calor que hay que extraer o aportar a un local de unas determinadas características, y situado en una zona determinada, para mantener su interior en unas condiciones de confort para las personas.

Las condiciones de confort de las personas dependen de varios factores, pero principalmente de la temperatura, la humedad del aire, y la velocidad del aire.

En la gráfica siguiente se puede ver las condiciones que resultan confortables para las personas en verano e invierno.

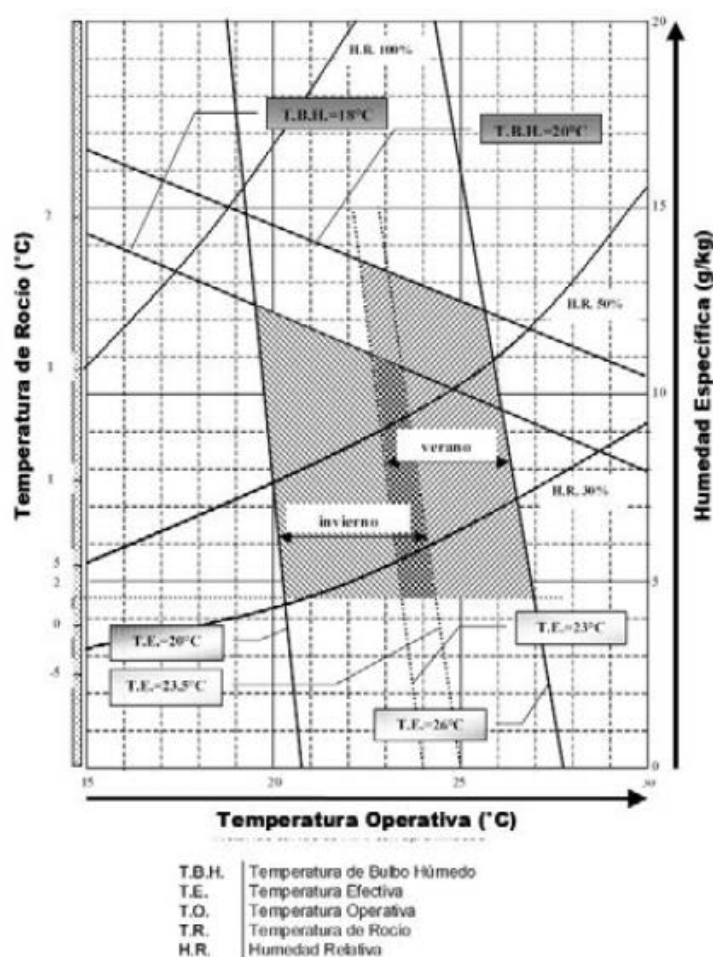


Figura 5 Gráfico de zona de confort para las personas

En el caso de las piscinas climatizadas, se busca mantener las mismas condiciones interiores durante todo el año independientemente de la estación, ya que la indumentaria de los usuarios es la misma, hay que buscar el punto de confort de los usuarios.

Las condiciones de confort pueden variar también de acuerdo con el nivel de actividad física de los ocupantes, a mayor actividad, menor temperatura. También se puede observar cómo la humedad aumenta la sensación de calor.

En este sentido se puede establecer una primera clasificación de las cargas térmicas según su incidencia:

- Cargas térmicas sensibles: aquellas que van a originar una variación en la temperatura del aire.
- Cargas térmicas latentes: las que van a originar una variación en la humedad absoluta del ambiente.

El conocimiento de las cargas térmicas es imprescindible como paso previo para diseñar el sistema de acondicionamiento del aire interior de un edificio, dependencia o local.

Para el cálculo se parte de tres datos:

- Temperatura interior, que depende del uso del local.
- Temperatura exterior, que depende de la zona en la que esté ubicado el edificio.
- Condiciones de las paredes y techos del local, si está más o menos aislado térmicamente.

### Condiciones exteriores de cálculo

Las condiciones exteriores de temperatura y humedad relativa dependen de la situación de la instalación, y pueden variar mucho de unas ubicaciones a otras pudiendo cambiar por completo el diseño de la instalación térmica del edificio.

Para fijar las condiciones exteriores de temperatura y humedad en proyectos de climatización, se utiliza como fuente la siguiente tabla correspondiente a la estación meteorológica de Madrid Barajas, extraída de la *“Guía técnica condiciones climáticas exteriores de proyecto”* realizada por el IDAE [4].

| Provincia   |              | Estación         |                       |                               |            | Indicativa            |            |
|---|--------------|------------------|-----------------------|-------------------------------|------------|-----------------------|------------|
| Madrid  |              | Madrid (Barajas) |                       |                               |            | 3129                  |            |
| UBICACIÓN: AEROPUERTO   |              |                  |                       | Nº DE OBSERVACIONES Y PERIODO |            |                       |            |
| a.s.n.m. (m)  | Lat.         | Long.            | T seca                | Hum. relativa                 | T terreno  | Rad                   |            |
| 582   | 40°27'15"    | 03°32'39"W       | 87.600<br>(1998-2007) | (3) 29.200<br>(1998-2007)     |            | 12.720<br>(2005-2007) |            |
| CONDICIONES PROYECTO CALEFACCIÓN (TEMPERATURA SECA EXTERIOR MÍNIMA)     |              |                  |                       |                               |            |                       |            |
| TSMIN (°C)  | TS_99,6 (°C) | TS_99 (°C)       | OMDC (°C)             | HUMcoin (%)                   | OMA (°C)   |                       |            |
| -10,5   | -3,8         | -2,4             | 14,6                  | 84                            | 40,2       |                       |            |
| CONDICIONES PROYECTO REFRIGERACIÓN (TEMPERATURA SECA EXTERIOR MÁXIMA)   |              |                  |                       |                               |            |                       |            |
| TSMAX (°C)  | TS_0,4 (°C)  | THC_0,4 (°C)     | TS_1 (°C)             | THC_1 (°C)                    | TS_2 (°C)  | THC_2 (°C)            | OMDR (°C)  |
| 40,7  | 36,4         | 19,1             | 35,2                  | 19,0                          | 33,7       | 18,8                  | 18,7       |
| CONDICIONES PROYECTO REFRIGERACIÓN (TEMPERATURA HÚMEDA EXTERIOR MÁXIMA) |              |                  |                       |                               |            |                       |            |
| TH_0,4 (°C)   | TSC_0,4 (°C) | TH_1 (°C)        | TSC_1 (°C)            | TH_2 (°C)                     | TSC_2 (°C) |                       |            |
| 20,8  | 32,8         | 20,0             | 32,6                  | 19,2                          | 32,6       |                       |            |
| VALORES MEDIOS MENSUALES  |              |                  |                       |                               |            |                       |            |
| Mes   | TA (°C)      | TASOL (°C)       | GD_15 (°C)            | GD_20                         | GDR_20     | RADH (kWh/m² día)     | TTERR (°C) |
| Enero   | 5,2          | 7,2              | 305                   | 459                           | 0          | 2,0                   |            |
| Febrero   | 6,9          | 9,3              | 233                   | 371                           | 0          | 3,0                   |            |
| Marzo   | 10,3         | 12,6             | 162                   | 302                           | 2          | 4,4                   |            |
| Abril   | 12,4         | 14,5             | 113                   | 237                           | 7          | 5,3                   |            |
| Mayo  | 16,8         | 19,0             | 49                    | 139                           | 40         | 6,3                   |            |
| Junio   | 23,3         | 26,0             | 6                     | 37                            | 137        | 7,2                   |            |
| Julio   | 25,6         | 28,0             | 1                     | 17                            | 190        | 7,4                   |            |
| Agosto  | 25,1         | 27,5             | 1                     | 18                            | 176        | 6,7                   |            |
| Septiembre  | 20,7         | 23,4             | 11                    | 60                            | 81         | 5,0                   |            |
| Octubre   | 15,0         | 17,5             | 58                    | 170                           | 13         | 3,0                   |            |
| Noviembre   | 8,8          | 11,0             | 190                   | 336                           | 0          | 1,9                   |            |
| Diciembre   | 5,4          | 7,5              | 207                   | 451                           | 0          | 2,0                   |            |

Figura 6 Condiciones climáticas exteriores de proyecto. Fuente IDAE [4]

En esta misma guía del IDAE, se menciona que para el cálculo de las cargas térmicas máximas de invierno, las temperaturas secas a considerar son las correspondientes a los siguientes niveles:

- TS<sub>99,6</sub> (°C) para hospitales, clínicas, residencias de ancianos, centros de cálculo y cualquier otro espacio que el técnico proyectista considere necesario que tenga este grado de cobertura.
- TS<sub>99</sub> (°C) para todos los tipos de edificios y espacios no mencionados anteriormente.

Por tanto, de acuerdo a lo anteriormente comentado, se utilizará como temperatura exterior de diseño -2,4°C.

Para el cálculo de las cargas térmicas máximas de verano, las temperaturas seca y húmeda a considerar son las correspondientes a los siguientes niveles:

- TS<sub>0,4</sub> (°C), THC<sub>0,4</sub> (°C) para hospitales, clínicas, residencias de ancianos, centros de cálculo y cualquier otro espacio que el técnico proyectista considere necesario que tenga este grado de cobertura.
- TS<sub>1</sub> (°C), THC<sub>1</sub> (°C) para todos los tipos de edificios y espacios no mencionados anteriormente.

Según ello, para el cálculo de cargas en verano se utilizará como temperatura exterior de diseño 35,2°C.

A continuación se realizará el cálculo de las cargas de local mediante un método simplificado. Esto será útil para realizar los cálculos psicométricos de forma precisa y así poder determinar la demanda para calcular la climatización del aire del recinto.

El método empleado para el cálculo de las necesidades de calefacción, contempla la existencia de dos cargas térmicas, la carga térmica por transmisión de calor a través de los cerramientos hacia los locales no climatizados o el exterior, y la carga térmica por enfriamiento de los locales por la ventilación e infiltración de aire exterior en los mismos.

#### 4.1 Pérdidas de calor por cerramientos

La transmisión de calor por las paredes del edificio se entiende a efectos de cálculo, como la energía que se transfiere a través de las mismas. Su expresión de cálculo se obtiene de la ecuación de transferencia de calor por conducción, para el caso unidimensional:

$$Q_{\text{tranf}}(W) = k_{\text{coef.transmisión}} * S * (T_{\text{interior}} - T_{\text{exterior}})$$

Siendo,

K, el coeficiente de transmisión global del cerramiento, paredes, cubiertas, suelos etc. (W/m<sup>2</sup>·K).

El K de un material indica el grado de aislamiento que este proporciona a ambos lados del cerramiento. Cuanto mayor es el valor de K, más energía calorífica puede transmitir.

Los valores de este coeficiente se encuentran tabulados para la mayoría de cerramientos comunes, pero si se dispone de los materiales que lo conforman su valor se puede calcular mediante:

$$k = \frac{1}{\sum R}$$

Donde:

K: coeficiente global de transferencia de calor de la pared.

R: resistencias térmicas de los materiales. Estas dependen del espesor L, de la conductividad térmica del material  $\lambda$  y de los coeficientes superficiales de transferencia de calor por convección en el interior,  $h_i$ , y exterior,  $h_e$ , del local. Desarrollando la fórmula anterior:

$$\frac{1}{k} = \sum \frac{L}{\lambda} + \left( \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} \right)$$

Conociendo de manera aproximada los materiales y espesores que conforman los diferentes muros del local, se puede obtener el valor de K.

S: Superficie del cerramiento ( $m^2$ ). La superficie neta se considera aquella que es perpendicular a la transmisión de calor entre los dos espacios, y consta del mismo material constructivo.

**(Tinterior –Texterior):** Diferencia de temperatura (K).

Además se deben emplear unos coeficientes de mayoración para ajustar estas pérdidas de calor en función de la orientación de los cerramientos, ya que no se producen las mismas pérdidas en las diferentes caras del edificio, y en función del uso de la calefacción del mismo.

- **C<sub>1</sub>: Coeficiente de mayoración por orientación:** se utiliza para muros exteriores, y es 1,10 para Norte, 1,05 Este-Oeste, y 1 para Sur (y techos y suelos)
- **C<sub>2</sub>: Coeficiente de mayoración por uso intermitente:** 1,10 para calefacción con parada nocturna, 1,05 para reducción de temperatura nocturna.

A continuación se realiza el cálculo para los diferentes cerramientos en función de su orientación, tanto para invierno como para verano. Estos cálculos servirán para el diseño de la bomba deshumectadora, que para mantener las condiciones interiores de confort ha de contrarrestar estas pérdidas. Los resultados obtenidos se muestran en conjunto al final de este punto.

### Fachada Sur

- **Área:** 248  $m^2$
- **Temperatura interior:** 29 °C (302 K)
- **Temperaturas exteriores de diseño:**
  - Invierno: -2,4 °C (270,6 K).
  - Verano: 35,2 °C (308,2 K).
- **Número de ventanas:** 5
  - Dimensiones: 4x7m
- **Coeficiente de transmisión global del muro:**
  - Muro formado por: enfoscado de cemento de 20 mm, 120mm de ladrillo macizo, cámara de aire, 53mm de ladrillo hueco, un enlucido de yeso de 15mm y un aislamiento de 50mm.

- $K = 0,45 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} = 0,52 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- Vidrio (140m<sup>2</sup>): Tipo de posición vertical doble de 4mm y con un espesor de la lámina de aire de 6 mm.
  - $K = 2,5 \text{ W/m}^2$ .

### Fachada Este

En esta fachada hay dos zonas diferenciadas, zona vaso de entrenamiento y zona vaso de enseñanza, y una puerta hacia el exterior. Se hará el cálculo por cada zona por separado.

#### Muro zona vaso entrenamiento:

- **Área:** 148 m<sup>2</sup>
- **Temperatura interior:** 29 °C (302 K)
- **Temperaturas exteriores de diseño:**
  - Invierno: -2,4 °C (270,6 K).
  - Verano: 35,2 °C (308,2 K).
- **Coeficiente de transmisión global del muro:**
  - Muro formado por: enfoscado de cemento de 20 mm, 120mm de ladrillo macizo, cámara de aire, 53mm de ladrillo hueco, un enlucido de yeso de 15mm y un aislamiento de 50mm.
    - $K = 0,45 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} = 0,52 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

#### Puerta hacia el exterior:

- **Área:** 4,8 m<sup>2</sup>
- **Temperatura interior:** 29 °C (302 K)
- **Temperaturas exteriores de diseño:**
  - Invierno: -2,4 °C (270,6 K).
  - Verano: 35,2 °C (308,2 K).
- **Coeficiente de transmisión global:**
  - Puerta de acceso: Con un doble chasis para un espesor de la puerta de 2,5 cm.
    - $K = 1,7 \text{ Kcal/ (h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C)} = 1,97 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

#### Muro zona vaso enseñanza:

- **Área total:** 74 m<sup>2</sup>
  - Área vidrio: 5 ventanas 70x70 cm y 5 ventanas de 2 x 0,5 m = 7,45m<sup>2</sup>
  - Área fachada sin ventanas: 66,55m<sup>2</sup>
- **Temperatura interior:** 29 °C (302 K)
- **Temperaturas exteriores de diseño:**
  - Invierno: -2,4 °C (270,6 K).



- Verano: 35,2 °C (308,2 K).
- **Coefficiente de transmisión global del muro:**
  - Muro formado por: enfoscado de cemento de 20 mm, 120mm de ladrillo macizo, cámara de aire, 53mm de ladrillo hueco, un enlucido de yeso de 15mm y un aislamiento de 50mm.
    - $K=0,45 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} = 0,52 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
  - Vidrio (140m<sup>2</sup>): Tipo de posición vertical doble de 4mm y con un espesor de la lámina de aire de 6 mm.
    - $K= 2,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

### Fachada Norte

- **Área:** 40 m<sup>2</sup>
- **Temperatura interior:** 29 °C (302 K)
- **Temperaturas exteriores de diseño:**
  - Invierno: -2,4 °C (270,6 K).
  - Verano: 35,2 °C (308,2 K).
- **Coefficiente de transmisión global:**
  - Muro formado por: enfoscado de cemento de 20 mm, 120mm de ladrillo macizo, cámara de aire, 53mm de ladrillo hueco, un enlucido de yeso de 15mm y un aislamiento de 50mm.
    - $K=0,45 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} = 0,52 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

### Fachada Oeste

En este caso también hay dos zonas diferenciadas, la zona donde está ubicado el vaso de enseñanza, cuyo muro en dirección Oeste lo separa de una zona de vestuarios que estarán calefactados, y el muro en dirección Oeste del vaso de entrenamiento que da al exterior.

#### Muro zona vaso entrenamiento:

- **Área:** 148 m<sup>2</sup>
- **Temperatura interior:** 29 °C (302 K)
- **Temperaturas exteriores de diseño:**
  - Invierno: -2,4 °C (270,6 K).
  - Verano: 35,2 °C (308,2 K).
- **Coefficiente de transmisión global del muro:**
  - Muro formado por: enfoscado de cemento de 20 mm, 120mm de ladrillo macizo, cámara de aire, 53mm de ladrillo hueco, un enlucido de yeso de 15mm y un aislamiento de 50mm.
    - $K=0,45 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} = 0,52 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Muro zona vaso enseñanza colindante con los vestuarios:

- **Área:** 74 m<sup>2</sup>
- **Temperatura interior:** 29 °C (302 K)
- **Temperatura exterior:** 21 °C (294 K). La zona de vestuarios tendrá una temperatura aproximada de 21°C
- **Coeficiente de transmisión global del muro:**
  - Muro formado por: 120mm de ladrillo macizo, cámara de aire, 53mm de ladrillo hueco, enlucido de yeso de 15mm y un aislamiento de 40mm.
    - **K=0,57 Kcal/m<sup>2</sup>·h·°C =0,66 W/m<sup>2</sup>·K**

## Cubierta zona vaso de entrenamiento

- **Área:** 573,5 m<sup>2</sup>
- **Temperatura interior:** 29 °C (302 K)
- **Temperaturas exteriores de diseño:**
  - Invierno:-2,4 °C (270,6 K).
  - Verano: 35,2 °C (308,2 K).
- **Coeficiente de transmisión global del muro, composición:**
  - Se tiene una cubierta plana transitable, no ventilada de suelo flotante con un forjado unidireccional con elementos de entrevigado de EPS y un aislamiento de poliestireno extruido, XPS, de 60mm de espesor. Para el cálculo de K, empleando como fuente la sección elementos constructivos del Código Técnico de la Edificación [7] para el caso de las cubiertas, obtenemos su valor:
    - **$k = \frac{1}{(1,05+1,80)} = 0,35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$**

## Cubierta zona vaso de enseñanza

- **Área:** 185 m<sup>2</sup>
- **Temperatura interior:** 29 °C (302 K)
- **Temperaturas exteriores de diseño:**
  - Invierno:-2,4 °C (270,6 K).
  - Verano: 35,2 °C (308,2 K).
- **Coeficiente de transmisión global del muro, materiales:**
  - Cubierta plana transitable, no ventilada de suelo flotante con un forjado unidireccional con elementos de entrevigado de EPS y un aislamiento de poliestireno extruido, XPS, de 60mm de espesor:
    - **$k = \frac{1}{(1,05+1,80)} = 0,35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$**

### Pérdidas Totales a través de cerramientos en invierno

|                              |                   |
|------------------------------|-------------------|
| <b>Fachada Sur</b>           | 14.028,77         |
| <b>Fachada Este</b>          | 5.263,16          |
| <b>Fachada Norte</b>         | 826,20            |
| <b>Fachada Oeste</b>         | 3.181,83          |
| <b>Cubierta Vaso Grande</b>  | 6.302,80          |
| <b>Cubierta Vaso Pequeño</b> | 2.033,15          |
|                              | <b>31.635,91W</b> |

Tabla 4.1 Pérdidas a través de cerramientos en invierno

### Pérdidas Totales a través de cerramientos en verano

|                              |                  |
|------------------------------|------------------|
| <b>Fachada Sur</b>           | -2.770,01        |
| <b>Fachada Este</b>          | -1.047,43        |
| <b>Fachada Norte</b>         | -163,13          |
| <b>Fachada Oeste</b>         | -160,39          |
| <b>Cubierta Vaso Grande</b>  | -1.244,49        |
| <b>Cubierta Vaso Pequeño</b> | -401,45          |
|                              | <b>-5.786,9W</b> |

Tabla 4.2 Pérdidas a través de cerramientos en verano

Estos valores son ganancias de calor a través de los cerramientos en verano, ya que el exterior está a mayor temperatura que el interior del recinto, en este caso habrá que controlar que la temperatura interior no aumente demasiado, de ello se encargará la bomba deshumectadora haciendo que el aire de descarga tenga una menor temperatura que en invierno.

## 4.2 Pérdidas por ventilación

La ventilación es el sistema por el cual se asegura que el local a acondicionar presenta un aire de una calidad aceptable para las personas que lo ocupan. Se encarga de realizar el aporte de aire del exterior y retirar parte del aire interior, asegurando una recirculación y renovación del aire.

La ventilación siempre será un factor desfavorable para el cálculo de cargas, ya que siempre retira aire del interior a la temperatura y humedad deseadas para introducir aire del exterior, que deberá ser tratado.

Las pérdidas por ventilación se obtienen empleando la siguiente fórmula:

$$Q_{transferido} = Q * \rho_a * C_{e,a} * (T_{interior} - T_{exterior})$$

Siendo:

**T<sub>exterior</sub>**, Temperatura exterior de cálculo, -2,4°C. Se realiza el cálculo para el caso de invierno que es el que producirá pérdidas que se deben compensar.

**T<sub>interior</sub>**, Temperatura del interior del recinto, 29°C

**$\rho_a$** , Densidad del aire, 1.2 kg/m<sup>3</sup>

**Cespecífico**: Calor específico del aire, 0.24 Kcal/ (kg ·°C)

**Q**, Caudal de aire exterior. Según el RITE en la IT 1.1.4.2.3., “Caudal mínimo del aire exterior de ventilación”, en las piscinas climatizadas el aire exterior de ventilación necesario para la dilución de los contaminantes será de 2,5 dm<sup>3</sup>/s por metro cuadrado de superficie de la lámina de agua y de la playa (no está incluida la zona de espectadores).

- Zona vaso de entrenamiento: S (lámina + playa)= 573,5m<sup>2</sup>
- Zona vaso de enseñanza: S (lámina + playa)= 185m<sup>2</sup>

Obteniendo un caudal de:

$$Q_{renov} = 2,5 \left( \frac{l}{s \cdot m^2} \right) \times 758,5m^2 = 1.896,25 \frac{l}{s} = \mathbf{6.826,5m^3/h}$$

Incluyendo la zona de espectadores, habrá que añadir al caudal anterior el siguiente:

La IT 1.1.4.2.2., “Categorías de calidad del aire interior en función del uso de los edificios”, establece en función del tipo de edificio, la categoría de calidad del aire interior (IDA) que se deberá alcanzar. En el caso que concierne a este proyecto, al tratarse de una piscina climatizada se requiere la categoría IDA 2, aire de buena calidad.

El RITE muestra una tabla con caudales de aire exterior, en dm<sup>3</sup>/s por persona que se emplea cuando sea baja la producción de sustancias contaminantes por fuentes diferentes del ser humano, cuando no esté permitido fumar y cuando las personas tengan una actividad metabólica de alrededor 1,2 met<sup>1</sup>. En el caso de una categoría IDA 2 es de 12,5 dm<sup>3</sup>/s por persona (45m<sup>3</sup>/h por persona).

<sup>1</sup> Se utiliza el **met** como unidad de medida de la tasa de actividad metabólica. El met se define como el metabolismo de una persona sentada y sin una actividad especial. Su equivalencia con otras unidades es, 1 met = 58,15 W/m<sup>2</sup> = 50 kcal/h·m<sup>2</sup>.

La capacidad máxima de las gradas es de 192 personas, salvo excepciones como competiciones, nunca se dará el aforo máximo, por lo que se tomará un valor un poco superior al diario previsto de 80 personas, realizando el cálculo resulta un caudal de aire exterior de:

$$Q = \frac{45m^3}{h * persona} * 80 personas = 3.600 m^3/h$$

Por tanto, considerando todo lo anterior, las pérdidas por ventilación del recinto adquieren un valor de **109,48kW**.

Estas pérdidas se darán en el caso extremo debido a que, por lo general, no habrá tantos espectadores, y además se ha realizado el cálculo con una temperatura exterior muy baja que rara vez se dará durante el invierno.

La batería de la deshumectadora debe compensar estas pérdidas además de las producidas a través de los cerramientos. Asimismo, esta bomba se podrá reprogramar en función del caudal exterior necesario para una correcta ventilación del recinto, los días de competición supondrán un mayor aforo de espectadores pudiendo introducir un mayor caudal de aire exterior. Ajustando dicho caudal se evitará un gasto energético innecesario. De esta manera los equipos funcionarán de una manera eficiente durante todo el año ajustándose a las necesidades de cada momento.

## 5. DISEÑO DEL SISTEMA DE DESHUMECTACIÓN Y TRATAMIENTO DEL AIRE.

Las necesidades del aire ambiente del recinto exigen mantener la calidad del mismo (renovación y filtrado), el calentamiento adecuado y específicamente su nivel de humedad dentro de los límites permitidos.

En este tipo de instalaciones de piscinas cubiertas donde la humedad relativa del aire interior es elevada, es posible obtener una deshumectación del ambiente mediante la introducción de aire exterior generalmente en mejores condiciones de humedad que el aire interior, sobre todo en los meses entre marzo y septiembre donde la humedad relativa del aire suele estar entre el 30 y el 50%, valores inferiores al 65% de humedad que habrá en el interior. Por tanto, en el cálculo de la bomba de calor es importante tener en cuenta la deshumectación asociada al caudal mínimo de aire de ventilación obligatorio.

Para evitar el gasto energético de llevar el aire exterior introducido a las condiciones interiores deseadas, el RITE en su IT1.2.4.5.2 “Recuperación de calor del aire de extracción” obliga a recuperar la energía térmica del aire expulsado, esta se empleará para precalentar el aire nuevo procedente del exterior.

Por tanto, esta instalación se complementará con un sistema de deshumectación controlado por el mismo sistema, consiguiéndose así mantener los parámetros ambientales de consigna definidos como:

-Temperatura interior del recinto: **29°C**

- Humedad relativa del ambiente: **65%**

El objetivo es deshumectar el local de la piscina mediante la introducción de aire exterior que se encuentre en condiciones de humedad absoluta inferior a las del aire ambiente interior. Por tanto, será necesario calentarlo antes de impulsarlo al recinto para vencer las pérdidas de calor por transmisión a través de los cerramientos del mismo.

### Funcionamiento general de una bomba deshumectadora

Las bombas deshumectadoras funcionan según el principio de la condensación, el aire húmedo procedente de la piscina es aspirado por el ventilador de retorno y se hace pasar a través de la batería del evaporador donde se enfría por debajo de su temperatura de rocío, la humedad contenida en el aire se condensa en forma de agua y es recogida en la bandeja de condensación. El aire frío y seco pasa a continuación a través de una batería condensadora donde es recalentado y enviado nuevamente al recinto de la piscina en las condiciones deseadas.

El aire procedente de la bomba poseerá una temperatura superior a la temperatura de entrada, y de esta manera se va calentando lentamente el ambiente de la piscina, no solo se

debe de controlar la humedad relativa, sino también, la temperatura y purificación del aire para dar un ambiente de confort para los usuarios.

En la figura 7 se puede observar los principales elementos que constituyen una bomba deshumectadora:

- Ventilador de retorno. Se encarga de absorber el aire del recinto para hacerlo entrar en la bomba.
- Sección de mezcla o free-cooling. Es el mecanismo que permite realizar la mezcla del caudal de aire recirculante con el aire de renovación introducido del exterior. Este mecanismo suele disponer de una serie de compuertas que permiten regular los dos caudales en función de las necesidades.
- Filtro de partículas. Una vez realizada la mezcla, el aire pasa por una sección donde se sitúa un filtro para evitar la entrada de partículas al interior de los intercambiadores evitando así la acumulación de suciedad en la superficie de intercambio.
- Baterías de intercambio. Formadas por un conjunto de evaporadores, condensadores y una batería de apoyo. Permite llevar el aire a las condiciones necesarias en el interior del recinto.
- Ventilador de impulsión. Impulsa el aire tratado hacia el recinto de las piscinas.

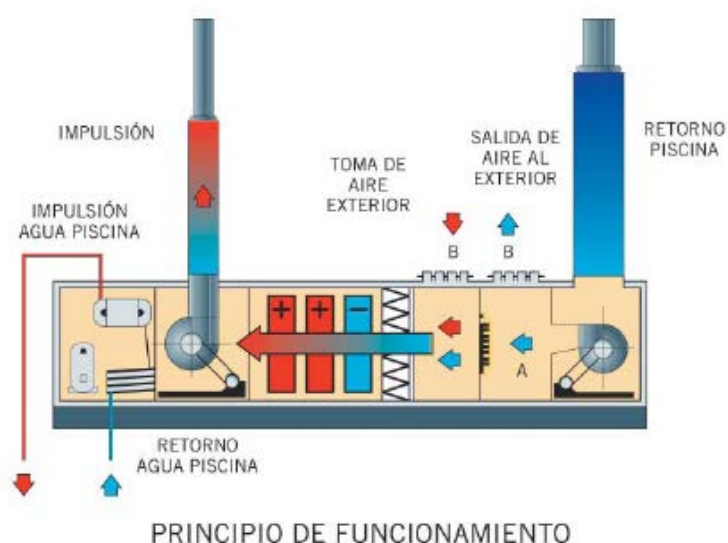


Figura 7 Detalle de funcionamiento de bomba deshumectadora

En grandes climatizadores, hay que valorar las condiciones ambientales exteriores e interiores, y ajustar el equipo para obtener el aire interior con el máximo de confort, y el mínimo gasto energético.

El porcentaje de calor latente/sensible que proporciona un equipo se puede ajustar con el tamaño de la batería enfriadora, y con el caudal de aire del ventilador.

A continuación se van a estudiar las necesidades para el tratamiento del aire y se seleccionará el equipo que más se ajuste según sus características.

## 5.1 Caudal de aire exterior

### Caudal mínimo para dilución de contaminantes:

Como ya se ha visto en apartados anteriores, según la IT 1.1.4.2.3. del nuevo Reglamento de Instalaciones Térmicas (RITE), en el caso de piscinas cubiertas climatizadas, el caudal mínimo de aire exterior de ventilación debe ser de  $2,5 \text{ dm}^3/\text{s}$  por  $\text{m}^2$  de superficie de lámina de agua y playa. Este cálculo ya se ha realizado anteriormente obteniendo un valor de  $6.826,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , este es el mínimo que se deberá introducir del exterior sin tener en cuenta los posibles espectadores.

Ya se ha comentado la necesidad de realizar un tratamiento térmico de dicho aire exterior mezclado con el aire interior, para llevar la mezcla a las condiciones deseadas. También será necesario recalentarla por encima de la temperatura interior para vencer las pérdidas de calor por transmisión del recinto. Además, la normativa exige la colocación de una batería de recuperación para recuperar la energía del aire que se extrae del local.

El valor de humedad que se consigue disminuir con el caudal de aire exterior, es función de la diferencia de humedad absoluta entre el aire exterior y el aire ambiente interior, y viene dado por la expresión:

$$Me \text{ (kg/h)} = QAE \times DAE \times (WAI - WAE)$$

Dónde:

**Me** (kg/h), Flujo másico de vapor de agua a evacuar.

**QAE** ( $\text{m}^3/\text{h}$ ), Caudal de aire exterior.

**DAE** ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), Densidad del aire exterior.

**WAI** (kg ag / kg aire), Humedad absoluta del aire ambiente interior (En condiciones de:  $29^\circ\text{C}$  y 65% HR).

**WAE** (kg ag / kg aire), Humedad absoluta del aire exterior.

El resto de humedad en kg/h tendrá que ser evacuado a través de la bomba deshumectadora que se va a diseñar. Para este cálculo se considerará un caudal de aire exterior de  $8.000 \text{ m}^3/\text{h}$ , que incluye el mínimo exigido por normativa en piscinas cubiertas y el necesario para 30 espectadores diarios tal y como se ha considerado en los cálculos de la cantidad de agua evaporada por las piscinas.

En función del aire exterior se aplicará la fórmula para distintos puntos de temperatura y humedad exterior de Madrid. Para ello se ha utilizado la publicación realizada por ATECYR centro, con el título "Datos trihorarios de Madrid" [6].



Los puntos a estudiar correspondientes a Madrid-Barajas, se muestran en la siguiente tabla, donde se indican para cada uno de ellos, los valores de temperatura seca (Ts), temperatura húmeda (Th), sus respectivos valores de frecuencias acumuladas (Fa) y de frecuencias del intervalo correspondiente (Fi). Estos valores corresponden a un período de 20 años por lo que tienen alta fiabilidad.

| Ts (°C) | Fa (%) | Fi (%) | Th (°C) |
|---------|--------|--------|---------|
| -4      | 0,5    | 0,5    | -4,0    |
| 0       | 4,4    | 3,9    | -0,4    |
| 4       | 12,7   | 8,3    | 3,1     |
| 12      | 47,3   | 34,6   | 9,8     |
| 20      | 76,3   | 29,0   | 14,9    |
| 26      | 89,2   | 12,9   | 18,1    |
| 28      | 92,2   | 3,0    | 18,9    |
| 32      | 97,0   | 4,8    | 20,6    |
| 38      | 99,9   | 2,9    | 22,0    |

Tabla 5.1 Datos trihorarios Madrid-Barajas [5]

En la siguiente tabla se representa la deshumectación del aire interior que se obtendría de la mezcla con dicho caudal de aire exterior en los distintos puntos estudiados de temperatura y humedad de Madrid:

| Ts<br>[°C] | Th<br>[°C] | WAE<br>[kg ag/kg aire] | DAE<br>[Kg/m <sup>3</sup> ] | WAI<br>[kg ag/kg aire] | QAE<br>[m <sup>3</sup> /h] | Me<br>[kg/h] |
|------------|------------|------------------------|-----------------------------|------------------------|----------------------------|--------------|
| -4         | -4         | 0,0028                 | 1,307                       | 0,01642                | 8.000                      | 142,41       |
| 0          | -0,4       | 0,0035                 | 1,286                       | 0,01642                | 8.000                      | 132,92       |
| 4          | 3,1        | 0,0043                 | 1,226                       | 0,01642                | 8.000                      | 118,87       |
| 12         | 9,8        | 0,0066                 | 1,226                       | 0,01642                | 8.000                      | 96,31        |
| 20         | 14,9       | 0,0084                 | 1,189                       | 0,01642                | 8.000                      | 76,29        |
| 26         | 18,1       | 0,0096                 | 1,163                       | 0,01642                | 8.000                      | 63,45        |
| 28         | 18,9       | 0,0098                 | 1,155                       | 0,01642                | 8.000                      | 61,17        |
| 32         | 20,6       | 0,0104                 | 1,139                       | 0,01642                | 8.000                      | 54,85        |
| 38         | 22         | 0,0098                 | 1,118                       | 0,01642                | 8.000                      | 59,21        |

Tabla 5.2 Deshumectación del aire interior provocado por la mezcla con aire exterior

En esta tabla se observa que, en las condiciones más favorables del aire exterior donde la humedad absoluta del mismo es bastante inferior a la humedad del aire ambiente interior, basta con el aire mínimo de ventilación para deshumectar el local.

En las condiciones más desfavorables de aire exterior (32°C Ts / 20,6°C Th), con el caudal de aire exterior empleado de 8.000 m<sup>3</sup>/h se evacuarían 54,85 kg/h de vapor de agua. Únicamente con el aire exterior introducido se deshumecta una parte importante del total necesario, el

resto del vapor de agua contenido en el aire deberá ser evacuado al pasar por las baterías de la deshumectadora.

Por tanto, según los cálculos realizados en el capítulo 3 del presente proyecto, considerando que se evapora 97,21 kg/h de vapor de agua en las piscinas y que el caudal de aire exterior, en el peor de los casos, reduce 54,85 kg/h, únicamente se necesitaría deshumectar **42,36kg/h** del total, consiguiéndose en definitiva una reducción del tamaño de la batería evaporadora de la bomba deshumectadora necesaria.

En el resto de condiciones del aire exterior, se consigue deshumectar cantidades superiores únicamente con la mezcla de aire exterior con el aire ambiente interior, por tanto con una bomba que posea una batería capaz de deshumectar al menos 42,36 kg/h sería suficiente para mantener las condiciones interiores de humedad en sus valores establecidos.

Este último valor se empleará para las características de la deshumectadora que requiere la instalación.

## 5.2 Caudal de aire de renovación total del local

La norma DIN 1946 [8], recoge el número de renovaciones a la hora que son aconsejadas para cada tipo de establecimiento o local. En el caso de piscinas cubiertas, el número de renovaciones por hora recomendado está entre 3 y 4. Por tanto se emplearán 4 renovaciones por hora del aire del recinto. Con ello se asegura una buena calidad del ambiente interior. El caudal de aire que se moverá en total cada hora en el local será de 24.272 m<sup>3</sup>/h.

## 5.3 Estudio psicométrico del funcionamiento de la deshumectadora

Para el diseño del sistema de deshumectación es preciso determinar la temperatura y humedad de descarga del aire impulsado para compensar el enfriamiento provocado por la evaporación del agua y las pérdidas a través de los cerramientos, teniendo en cuenta las pérdidas y ganancias que se producen.

Para el estudio se parte de los siguientes datos:

- Temperatura del aire interior: 29°C
- Humedad relativa máxima: 65% (16,42 g/kg).
- Volumen de vapor de agua a extraer: 97,21 kgagua/h.
- Caudal de aire de circulación: 4 ren/h.
- Volumen del local (V): 6.068 m<sup>3</sup>.
- Temperatura exterior de diseño en invierno: -2,4°C
- Humedad relativa invierno: 84%, (2,65 g/kg).
- Temperatura exterior de diseño en verano: 35,2 °C
- Humedad relativa verano: 19,53%, (6,90 g/kg).

### Velocidad media del aire

Previamente, siguiendo las exigencias del RITE IT 1.1.4.1.3, “Velocidad media del aire”, hay que mantener la velocidad del aire en la zona ocupada dentro de los límites de bienestar, teniendo en cuenta la actividad de las personas y su vestimenta, así como la temperatura del aire y la intensidad de la turbulencia. Se calcula la velocidad del aire mediante la siguiente expresión:

$$v = \frac{T}{100} - 0,07 = 0,22 \text{ m/s}$$

Siendo:

V: velocidad del aire

T: temperatura interior del aire(29°C).

### Caudal de aire

En los apartados previos se ha obtenido un caudal de aire de circulación de 24.272 m<sup>3</sup>/h dentro del recinto.

### Masa de aire en circulación

Es preciso conocer la masa de aire impulsado, conociendo el caudal de aire obtenemos:

$$\dot{m}_a = \frac{q_a}{v} = \frac{24.272 \text{ m}^3/\text{h}}{0,8777 \text{ m}^3/\text{kg}} = 27.654,1 \text{ kg/h}$$

Siendo  $v$  el volumen específico del aire en las condiciones interiores, 65% de HR y 29°C.

### Humedad específica de descarga

Conociendo la masa de agua evaporada en las piscinas y la masa de aire que está en circulación en el recinto, se calcula la variación de humedad producida:

$$\Delta w = \frac{M_e}{\dot{m}_a} = \frac{97,21 * 10^3 \text{ g}_{\text{agua}}/\text{h}}{27.654,1 \text{ kg/h}} = 3,52 \text{ g}_{\text{agua}}/\text{kg}_{\text{aire}}$$

Con un 65% de HR y 29°C se tiene una humedad específica de 16,42 g/kg. Con la variación de humedad calculada, queda una humedad específica de descarga de 12,9 g/kg. Esta es la humedad específica que tiene que tener el aire al salir de la deshumectadora para contrarrestar la evaporación continua de los vasos de las piscinas.

Ahora hay que ver en qué condiciones de temperatura y humedad se impulsa el aire.

### Temperatura de mezcla y de descarga del aire en invierno

Con el dato de carga total en invierno, se obtiene la entalpía que se ha de recuperar por la pérdida de calor a través de los cerramientos:

$$Q = 31.635,91W = 113.889,28 \text{ kJ/h}$$

$$\Delta h = \frac{Qt}{\dot{m}_a} = \frac{113.889,28}{27.654,1} = 4,12 \text{ kJ/kg}$$

La entalpía en las condiciones interiores es de: **71,08 kJ/kg aire ( $h_p$ )**. Esta entalpía es la que se debe mantener en el interior según las condiciones interiores, por tanto, la descarga de aire ha de contrarrestar esas pérdidas de entalpía debidas a las pérdidas de calor a través de los cerramientos.

Quedando una entalpía de descarga de:

$$h_D = h_p + \Delta h = 71,08 + 4,12 = 75,2 \text{ kJ/kg}$$

Con los dato de entalpía y humedad específica de descarga ya se puede conocer las condiciones finales del aire en la impulsión.

Entalpía:

$$h_D = 75,2 \text{ kJ/kg}$$

Humedad específica:

$$w_D = 12,9 \text{ g}_{\text{agua}}/\text{kg}_{\text{aire}}$$

Entonces, con estos dos datos se ha podido obtener el valor de la temperatura de mezcla y de descarga para condiciones invernales utilizando el diagrama psicrométrico.

- Temperatura de mezcla:  $T_M = 21,5^\circ\text{C}$
- Temperatura de descarga:  $T_D = 41,5^\circ\text{C}$
- Humedad relativa de descarga  $\approx 26\%$

Este resultado es para las condiciones exteriores más desfavorables en invierno, donde se ha tomado la temperatura exterior de diseño de  $-2,4^\circ\text{C}$ . Se ha realizado el cálculo para el caso más extremo, por lo general en el horario de apertura de la piscina al público no se dará esa temperatura sino que será bastante superior, por encima de los  $0^\circ\text{C}$ .

### Temperatura de mezcla y de descarga del aire en verano

Con los datos anteriores y recalculando los apartados adecuados, se calcula la temperatura de descarga en verano, teniendo en cuenta las cargas del local en esta estación del año. Además

se debe tener presente que la temperatura exterior en verano se tomará de 35,2°C y una humedad de 6,9g<sub>vapor</sub>/kg<sub>aire</sub>.

Con el dato de carga total en verano, se calcula la diferencia de entalpía provocada por las ganancias de calor en el recinto:

$$Q = -5.786,9 \text{ W} = -20.832,84 \text{ kJ/h}$$

$$\Delta h = \frac{Qt}{\dot{m}_a} = \frac{-20.832,84}{27.654,1} = -0,75 \text{ kJ/kg}$$

La entalpía en las condiciones interiores es de: **71,08 kJ/kg aire ( $h_p$ )**. Esta entalpía es la que se debe mantener en el interior según las condiciones interiores, por tanto, la descarga de aire ha de contrarrestar las ganancias de calor a través de los cerramientos.

Quedando una entalpía de descarga de:

$$h_D = h_p + \Delta h = 71,08 - 0,75 = 70,33 \text{ kJ/kg}$$

La humedad específica de descarga y la entalpía de la piscina siguen siendo las mismas que en el caso invernal.

Entonces con los datos de las condiciones interiores y estos nuevos de las condiciones de descarga, repitiendo la técnica gráfica se obtiene:

- Temperatura de mezcla:  $T_M = 30,2^\circ\text{C}$
- Temperatura de descarga:  $T_D = 36,5^\circ\text{C}$
- Humedad relativa de descarga  $\approx 33 \%$

## 5.4 Recuperación de calor del aire de extracción

La normativa exige recuperar el calor del aire extraído del local cuando el caudal expulsado sea superior a 0,5 m<sup>3</sup>/s (1.800 m<sup>3</sup>/h). En este caso se ha hecho el diseño para introducir del exterior 8.000m<sup>3</sup>/h, y por consiguiente se expulsará al exterior la misma cantidad, por tanto la deshumectadora que se seleccione para el local tendrá que poseer una batería de recuperación por la que pasará el aire antes ser expulsado al exterior.

La recuperación de calor del aire expulsado se lleva a cabo para evitar la pérdida excesiva de calor debida a la extracción de aire del interior, tanto si está más frío como más caliente que el exterior, y en consecuencia un mayor gasto energético. El recuperador es un intercambiador de calor en el que el aire extraído cede calor (en invierno) al aire de la mezcla, que lo absorbe. Este intercambio se produce sin que haya mezcla entre ambos caudales.

El RITE además, en su IT 1.2.4.5.2 "Recuperación de calor del aire de extracción", exige una eficiencia mínima de recuperación. Por ser una piscina climatizada y expulsar un caudal de 2,22m<sup>3</sup>/s, superior a 0,5m<sup>3</sup>/s, según la tabla siguiente obtenida del apartado mencionado del

RITE, la batería de la deshumectadora tendrá que recuperar como mínimo el 55% de la energía térmica contenida en el aire con unas pérdidas de presión máximas de 200Pa.

En las piscinas climatizadas, se ha de aplicar la recuperación de calor del aire de extracción teniendo en cuenta la eficiencia mínima y las pérdidas de presión máximas dadas para más de 6.000 h anuales de funcionamiento.

| Tabla 2.4.5.1 Eficiencia de la recuperación |                                |     |            |     |            |     |           |     |      |     |
|---|--------------------------------|-----|------------|-----|------------|-----|-----------|-----|------|-----|
| Horas anuales de funcionamiento             | Caudal de aire exterior (m³/s) |     |            |     |            |     |           |     |      |     |
|   | >0,5...1,5                     |     | >1,5...3,0 |     | >3,0...6,0 |     | >6,0...12 |     | > 12 |     |
|   | %                              | Pa  | %          | Pa  | %          | Pa  | %         | Pa  | %    | Pa  |
| ≤ 2.000                                     | 40                             | 100 | 44         | 120 | 47         | 140 | 55        | 160 | 60   | 180 |
| > 2.000 ... 4.000                           | 44                             | 140 | 47         | 160 | 52         | 180 | 58        | 200 | 64   | 220 |
| > 4.000 ... 6.000                           | 47                             | 160 | 50         | 180 | 55         | 200 | 64        | 220 | 70   | 240 |
| > 6.000                                     | 50                             | 180 | 55         | 200 | 60         | 220 | 70        | 240 | 75   | 260 |

Tabla 5.3 Eficiencia de la recuperación del aire de extracción, Fuente RITE

Por tanto, asegurando lo exigido por normativa se realiza el cálculo de la potencia necesaria para la recuperación de calor del aire de extracción.

Las condiciones del aire interior que será expulsado son las siguientes:

- ✓ Tseca : 29°C
- ✓ HR: 65%
- ✓ Entalpía: h=71,08 kJ/kg aire
- ✓ Volumen específico= 0,8777 m³/kg

Con el caudal de aire expulsado y el volumen específico en las condiciones interiores, se obtiene la masa de aire expulsada por hora.

- ✓ Caudal de aire= 8.000 m³/h

$$8.000 \frac{m^3}{h} * \frac{1}{0,8777} \frac{kg}{m^3} = 9.114,73 \text{ kg aire/h}$$

Quedando una potencia de:

$$Pot = 71,08 \frac{kJ}{kg \text{ aire}} * 9.114,73 \frac{kg \text{ aire}}{h} = 647.875 \frac{kJ}{h} = 179,96kW$$

Se ha de recuperar como mínimo el 55% de esa potencia, es decir, **98,9kW**. Este valor es el que condiciona la potencia calorífica de la batería de recuperación de la deshumectadora que se va a instalar.

## 5.5 Selección del equipo

Tal y como se ha estudiado en los apartados anteriores, se requiere de una bomba deshumectadora que cumpla las siguientes características:

- Caudal de aire impulsión/retorno: 24.272 m<sup>3</sup>/h
- Potencia de deshumidificación: 42,36 kg/h
- Potencia calorífica de la batería de recuperación del aire de extracción: 99 kW.

Además de todo ello, se requiere establecer el nivel de filtración mínimo del aire exterior, exigido por el RITE, que debe de contener la bomba en función de las condiciones del aire interior y exterior.

Al ser una piscina, ya se ha visto con anterioridad que la calidad del aire interior del edificio se clasifica según una IDA 2, aire de buena calidad, y la calidad del aire exterior se clasifica en un nivel ODA 2, aire con concentraciones altas de partículas y, o de gases contaminantes. Por tanto, se debe asegurar que el equipo seleccionado posea un nivel de filtración F6 + F8 como mínimo.

En función de las necesidades y de todos los cálculos anteriormente detallados, se ha seleccionado un equipo de tratamiento de aire Aquair Premium BCP 360 de la marca CIAT. Estos son equipos de deshumectación mediante circuito frigorífico especialmente diseñado para piscinas cubiertas, con recuperación total del calor de condensación.

El equipo se compone de tres etapas de deshumectación mediante tres circuitos frigoríficos:

- Uno de los circuitos condensa sobre un intercambiador de placas de acero inoxidable SMO 254 aleado con cromo y molibdeno, con alta resistencia a la corrosión en presencia de cloruros que, alimentado con el agua de la piscina, recupera parte de la energía consumida en el proceso de evaporación. De tal forma, que el calor cedido en la evaporación sirve para el calentamiento del agua del vaso, y contrarrestar las pérdidas. Este se conectará al vaso de mayores dimensiones.
- Los otros dos circuitos condensan sobre una batería de aire colocada a la salida del aire procedente del evaporador, calentando el aire frío y seco de salida del mismo.
- Integra también un circuito reversible de recuperación de calor del aire de extracción mediante circuito frigorífico. Permitiendo calentar el aire de la mezcla antes de la impulsión hacia el recinto.
- También incorpora una batería de apoyo de agua alimentada por las calderas.

Todos los circuitos participan en la deshumectación del aire al evaporar sobre una batería de tres circuitos. Se dispone de tres compresores herméticos scroll.

Todos estos elementos son controlados por el propio equipo.

El funcionamiento de las BCP está controlado por el humidostato, que controla la humedad relativa del local y por una sonda de temperatura exterior.

Ventajas del equipo Aquair Premium BCP 360:

- Optimización del consumo energético, recuperación de energía.
- Ahorro energético: calefacción de agua y calentamiento de agua de piscina.
- Alta eficiencia COP=5.
- Enfriamiento y deshumectación gratuitos gracias al free-cooling.
- Fácil instalación y numerosos montajes.
- Funcionamiento todas las estaciones con AQUAIR DUAL.
- Regulación electrónica de altas prestaciones.

Resumiendo, se puede decir que una de las grandes ventajas de climatizar piscinas cubiertas utilizando equipos frigoríficos es el considerable ahorro de energía que proporcionan, además de simplificar las instalaciones en cuanto a caudales de aire a mover, y de asegurar las condiciones de confort independientemente de las condiciones exteriores.

Las características técnicas de la deshumectadora seleccionada son:

- Potencia deshumidificación: 73,5kg/h
- Potencia calorífica aire de recuperación de extracción: 43,3 kW. Por las necesidades estudiadas y por normativa, se requiere de una batería con una potencia superior, 99kW. El fabricante permite la modificación de partes de la deshumectadora acorde a las necesidades.
- Caudal de aire nominal: 24.000m<sup>3</sup>/h
- Refrigerante: R410A
- Batería de apoyo de agua caliente: compuesta por dos filas con una potencia calorífica de 121,7kW y mueve un caudal de agua de 6,2 m<sup>3</sup>/h.

Con este equipo se asegura unas condiciones interiores adecuadas en función de las características y necesidades del recinto. Se han realizado los cálculos para un caudal de aire exterior de 8.000m<sup>3</sup>/h, pero dicho caudal se podrá modificar cuando sea necesario, cuando el aforo de público en las gradas sea elevado o cuando la piscina permanezca cerrada al público por ejemplo. Solo bastará con reprogramar la deshumectadora para que introduzca más o menos aire del exterior.

En el Anexo III, Documentación técnica de equipos, se recoge las características técnicas de la deshumectadora seleccionada.



## 6. AGUA CALIENTE SANITARIA

Para el cálculo de las necesidades energéticas y de suministro de agua para el agua caliente sanitaria (ACS), se han tomado los valores exigidos por el CTE (Código Técnico de la Edificación) en su apartado destinado a definir la calidad del suministro (DB HS: Salubridad) [11].

La instalación cuenta con dos vestuarios con duchas y lavabos para las piscinas, y otros dos vestuarios para la sala de fitness que se encuentra dentro del mismo edificio.

El edificio cuenta en total con:

- 50 duchas
- 25 lavabos
- 10 inodoros con cisterna

### 6.1 Legionela

La legionela (*Legionella pneumophila*) es una bacteria que se halla en medios acuáticos naturales pudiendo sobrevivir en condiciones ambientales muy diversas y que ha encontrado un hábitat muy adecuado en sistemas de agua creados por el hombre, que actúan como amplificadores y propagadores de la bacteria.

Para que su concentración aumente, entrañando riesgo para las personas, debe pasar a colonizar, fundamentalmente a través de redes de distribución de agua potable, sistemas hídricos construidos por el hombre, como torres de refrigeración y sistemas de distribución de agua sanitaria, donde encuentra las condiciones idóneas para la multiplicación (25-45°C). A temperaturas superiores de 70°C la bacteria muere de forma casi instantánea.

Atendiendo a los Criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis, (Aprobados por el Real Decreto 865/2003) [9], a parte de las actuaciones que se deben hacer en la conducción de las instalaciones de agua caliente durante su funcionamiento y el mantenimiento, tales como análisis periódicos y aumento de la temperatura del agua en depósitos y tuberías hasta 70°C periódicamente, por lo que respecta al diseño de las instalaciones, han de cumplir las siguientes premisas:

- Los depósitos de acumulación de agua caliente sanitaria deben tener la posibilidad de poder aumentar la temperatura hasta 70°C o más para su desinfección.
- La red de tuberías que distribuye el agua caliente sanitaria ha de tener la posibilidad de pasar por su interior agua caliente a 70°C, por lo tanto deberá haber un by-pass en la válvula mezcladora termostática para que pase agua del depósito directamente a consumo sin ser mezclada con agua de red y de retorno.
- La temperatura de distribución no debe ser nunca menor de 50°C en el punto más alejado del circuito o en la tubería de recirculación a la entrada de depósitos acumuladores.

## 6.2 Dimensionado de la instalación

### Caudales instantáneos

Son el resultado de la suma de los caudales de todos los aparatos aplicando un coeficiente de simultaneidad de uso, ya que no todos los aparatos se utilizarán al mismo tiempo. Dicho caudales, se obtienen mediante la siguiente expresión:

$$Q_c = A * (Q_T)^B + C$$

Donde:

$Q_c$ , Caudal simultáneo de cálculo (l/s).

$Q_T$ , Caudal total, suma de todos los aparatos del edificio.

**A**, **B** y **C** son coeficientes que dependen del tipo de edificio, de los caudales totales del edificio y de los caudales máximos por aparatos. Quedan recogidos en la norma UNE 149.201/07.

Atendiendo a los caudales instantáneos mínimos de A.C.S por tipo de aparato según la Norma Básica para las Instalaciones Interiores de Suministro de Agua, y los coeficientes tabulados en función del tipo de edificio, Polideportivos en este caso:

- Duchas: 0,1 l/s,
  - 50\*0,1=5 l/s
- Lavabos: 0,065 l/s
  - 25\*0,065=1,625 l/s
- Inodoros con cisterna: no tienen consumo de ACS

Proporcionando un caudal total de  $Q_T = 6,625 \text{ l/s}$

Con este caudal,  $Q_T \leq 20 \text{ l/s}$  y empleando la tabla siguiente se obtienen los siguientes coeficientes, A=4,4; B=0,270; C= -3,41:

| Tipo de edificio         | Caudales (l/s) |            | Coeficientes |        |        |
|--------------------------|----------------|------------|--------------|--------|--------|
|                          | $Q_u$          | $Q_T$      | A            | B      | C      |
| Escuelas, polideportivos |                | $\leq 1,5$ | 1,000        | 1,000  | 0,000  |
|                          | → Sin límite   | $\leq 20$  | 4,400        | 0,270  | -3,410 |
|                          |                | $> 20$     | -22,500      | -0,500 | 11,500 |

Tabla 6.1 Coeficientes para el cálculo de los caudales simultáneos, UNE 149.201/07

Por tanto, se obtiene un caudal simultáneo de:

$$Q_c = A * (Q_T)^B + C = 4,4 * (6,625)^{0,270} - 3,41 = 3,92 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

## Consumos

El consumo de ACS no tiene por qué estar directamente relacionado con el caudal instantáneo que se ha calculado. Para establecer el consumo diario de ACS a 60°C se utiliza la tabla recogida en el documento HE4 del CTE [10], dicha tabla muestra las demandas de referencia en función del tipo de edificio:

| Criterio de demanda                     | Litros ACS/día a 60° C |                   |
|---|------------------------|-------------------|
| Viviendas unifamiliares                 | 30                     | por persona       |
| Viviendas multifamiliares               | 22                     | por persona       |
| Hospitales y clínicas                   | 55                     | por cama          |
| Hotel ****                              | 70                     | por cama          |
| Hotel ***                               | 55                     | por cama          |
| Hotel/Hostal **                         | 40                     | por cama          |
| Camping                                 | 40                     | por emplazamiento |
| Hostal/Pensión *                        | 35                     | por cama          |
| Residencia (ancianos, estudiantes, etc) | 55                     | por cama          |
| Vestuarios/Duchas colectivas            | 15                     | por servicio      |
| Escuelas                                | 3                      | por alumno        |
| Cuarteles                               | 20                     | por persona       |
| Fábricas y talleres                     | 15                     | por persona       |
| Administrativos                         | 3                      | por persona       |
| Gimnasios                               | 20 a 25                | por usuario       |
| Lavanderías                             | 3 a 5                  | por kilo de ropa  |
| Restaurantes                            | 5 a 10                 | por comida        |
| Cafeterías                              | 1                      | por almuerzo      |

Tabla 6.2 Demanda de referencia de ACS diaria a 60 °C, DB-HE4 [10]

Además, el CTE en su DB HS4, “Suministro de agua”, exige que la temperatura de ACS en los puntos de consumo deba estar comprendida entre 50°C y 65°C para prevención de la legionelosis.

Para la estimación del consumo diario de ACS en un polideportivo se precisa conocer la afluencia prevista, no es suficiente el número de duchas ya que las mismas serán utilizadas varias veces al día.

En este caso se estima una afluencia de 600 personas diarias (194.134pers/año, dato facilitado en la web).

### Consumo diario de agua caliente sanitaria:

- Vestuarios/duchas colectivas: 15 l/día a 60°C por servicio.
- Consumo= 600 personas/día \* 15 l/día a 60°C persona = 9.000 l/día a 60°C

**Tiempo de consumo punta sostenido:**

Con el consumo diario y el caudal total instantáneo se tendría un tiempo de consumo punta de:

$$t = \frac{9.000 \text{ l/día a } 60^{\circ}\text{C}}{3,92 \text{ l/s}} = 2.295,92 \frac{\text{s}}{\text{día}} (38 \text{ minutos diarios})$$

Para estos cálculos habría que tener en cuenta que los usuarios no emplean una temperatura de 60°C para ducharse, sino una temperatura media de 38°C y tomando una temperatura de agua de red a 6°C (la mínima en Madrid), recalculando se obtiene:

- Consumo diario a 38°C:

$$D_{38^{\circ}\text{C}} = \frac{D_{60^{\circ}\text{C}} * (60 - T_{AFCH})}{T_{38^{\circ}\text{C}} - T_{AFCH}} = \frac{9.000 * (60 - 6)}{38 - 6} = 15.187,5 \text{ l/día a } 38^{\circ}\text{C}$$

- Tiempo de consumo punta sostenido:

$$t = \frac{15.187,5 \text{ l/día a } 38^{\circ}\text{C}}{3,92 \text{ l/s}} = 3.874,36 \frac{\text{s}}{\text{día}} (65 \text{ minutos diarios})$$

**Energía demandada para el calentamiento del agua caliente sanitaria:**

Teniendo en cuenta que la energía necesaria para calentar un litro de agua es una Kcal, 1.16Wh, se requiere una energía de:

$$E_{60^{\circ}\text{C}} = 9.000 \frac{\text{l}}{\text{día}} * (60 - 6)^{\circ}\text{C} * 1,16 \frac{\text{Wh}}{^{\circ}\text{C}} = 563,76 \text{ kWh/día}$$

$$E_{38^{\circ}\text{C}} = 15.187,5 \frac{\text{l}}{\text{día}} * (38 - 6)^{\circ}\text{C} * 1,16 \frac{\text{Wh}}{^{\circ}\text{C}} = 563,76 \text{ kWh/día}$$

La energía es la misma ya que siempre se producirá a 60°C, y para alcanzar los 38°C se mezclará con agua de red o de recirculación.

**Producción instantánea**

La instalación debe ser capaz de proporcionar la potencia suficiente para el momento punta más desfavorable, el resto del tiempo la regulación adecuará la potencia a las necesidades de cada momento.

$$P(W) = Q_c \left( \frac{\text{l}}{\text{s}} \right) * 3600 \left( \frac{\text{s}}{\text{h}} \right) * (T_{ACS} - T_{AFCH}) (^{\circ}\text{C}) * 1,16 \left( \frac{\text{Wh}}{\text{l}^{\circ}\text{C}} \right)$$

La temperatura de distribución de ACS en este tipo de edificio por normativa, ha de ser de 50°C en el punto más alejado de la producción. Esta temperatura es la que se tomará como  $T_{ACS}$  y donde el caudal punta se corresponde con el caudal simultáneo ya calculado.

$$P(W) = 3,92 \left( \frac{l}{s} \right) * 3600 \left( \frac{s}{h} \right) * (50 - 6)(^{\circ}C) * 1,16 \left( \frac{Wh}{l^{\circ}C} \right) = 720,28kW$$

Esta potencia instantánea es bastante elevada, y pocas veces será necesaria en la instalación, además, la temperatura de red dependerá del mes del año y se ha empleado la más desfavorable. Es decir, la instalación quedará bastante sobredimensionada.

A parte, esta potencia se corresponde con la que puedan entregar los intercambiadores, no con la de las calderas, que como mínimo debe ser igual.

Esto se puede solventar con sistemas de acumulación, es decir, un volumen de acumulación que sea capaz de compensar las puntas de demanda.

## Acumulación

Se diseñará un sistema de acumulación cuyo volumen sea capaz de cubrir la hora punta.

En este sistema hay que asegurar las condiciones de funcionamiento, el agua se debe acumular al menos a 60°C y que se deben asegurar 50°C en los puntos más alejados. Además la instalación debe permitir que el agua alcance los 70°C, para prevención de la legionelosis.

En esta instalación se emplearán depósitos acumuladores donde el intercambiador se ubica fuera del depósito en lugar de interacumuladores, ya que estos últimos proporcionan una potencia muy limitada por la superficie de intercambio y presentan mayores problemas para su mantenimiento. Los depósitos interacumuladores se recomiendan para instalaciones pequeñas.

Para dimensionar la instalación de producción de agua caliente sanitaria hay que considerar que la energía aportada por el sistema (producción más acumulación) ha de igualar a la consumida en la punta. Al elegir un sistema de acumulación en vez de semiacumulación, las potencias necesarias podrán ser menores cuanto mayores sean los volúmenes de acumulación.

Potencia a instalar:

$$P_{Calderas} = [Q_{Punta} * (T_{ACS} - T_{AFCH}) - V_{acumulación} * (T_{acumulación} - T_{AFCH}) * F_{uso\ acumulación}] * 1,16 / \eta_{prdACS}$$

Siendo:

- $Q_{Punta}$ , En polideportivos el consumo presenta varias puntas, por lo que se considerará que en la hora punta se tiene un consumo del 30% del medio diario.

- $T_{ACS}$  , Temperatura de utilización de ACS.
- $T_{AFCH}$  , Temperatura del agua de red. Se usará la mínima en Madrid (6°C).
- $V_{acumulación}$  , Volumen total de los depósitos.
- $T_{acumulación}$  , Temperatura de acumulación. Se utilizará una temperatura de 70°C para asegurar que los depósitos son capaces de alcanzar dicha temperatura requerida por normativa para prevención de la legionelosis, aunque en su funcionamiento diario se establezca una consigna de 60°C.
- $F_{uso\ acumulación}$  , Factor de uso del volumen acumulado. En el interior de los depósitos de acumulación existe una zona de mezcla entre las aguas fría y caliente donde la temperatura resulta inferior a la de uso, por lo que dicho volumen no puede ser utilizado. Este depende de la geometría y del número de depósitos y se calcula de la siguiente manera:

$$F_{uso\ acumulación} = 0,63 + 0,14 * H/D$$

Donde H y D son la altura y diámetro del depósito.

Si existen varios depósitos:

- En serie, el factor de uso se aplicará a uno solo.
  - En paralelo, el factor de uso afecta a todos.
- $\eta_{prdACS}$  , rendimiento del sistema de producción de ACS incluyendo pérdidas por intercambio, acumulación, distribución y recirculación. Considerando los siguientes factores de pérdidas del sistema:
    - 0,9 pérdidas por intercambio
    - 0,9 pérdidas distribución- acumulación

Dicho rendimiento se estimará en un 81%.

Observando la ecuación, la potencia a calcular será mayor cuanto mayor sea el consumo en la punta y cuanto menor sea el volumen de acumulación.

Haciendo los cálculos para el diseño del sistema de acumulación de la piscina EL Val, se tiene, con la hipótesis del consumo en hora punta del 30% del consumo medio diario, 9.000 l/día a 60°C, un consumo en la hora punta de 2.700l.

A continuación se realizarán varios cálculos en función del porcentaje de acumulación y se escogerá la solución que mejor se adapte a las condiciones.

Para ello, si hay más de un depósito, previamente habrá decidir si la conexión entre los depósitos será en serie o paralelo, siendo esta última más sencilla y con menores pérdidas de carga, pero con ello se tiene una mayor zona de mezcla y como consecuencia un menor aprovechamiento del volumen acumulado. Por el contrario, la conexión en serie reduce la zona de mezcla, aprovechando mejor la estratificación, pero las conexiones hidráulicas son más complejas y las pérdidas de carga mayores. Según esto, en el caso de disponer de más de un depósito de acumulación estos se conectarán en serie.

- **Considerando una acumulación del 50% del consumo en la punta:**

Capacidad de acumulación =  $0,5 * 2.700 = 1.350$  l

Se puede tomar un único depósito de 1.500 l:

1. Diámetro: 1.360mm
2. Altura: 1.830mm

$$F_{uso\ acumulación} = 0,63 + 0,14 * \frac{1.830}{1.360} = 0,82 \text{ (82\%)}$$

$\eta_{prdACS}$  , estimado en el 81%

Requeriría una potencia de:

$$P_{Calderas} = [Q_{Punta} * (T_{ACS} - T_{AFCH}) - V_{acumulación} * (T_{acumulación} - T_{AFCH}) * F_{uso\ acumulación}] * \frac{1,16}{\eta_{prdACS}} = [2.700 * (60 - 6) - (1.500 * 0,82) * (70 - 6)] * \frac{1,16}{0,81} = 96.065W = 96 \text{ kW}$$

Con dicha potencia se estima un tiempo de recuperación del calentamiento del depósito de:

$$\frac{1.500 \text{ (l)} * (70 - 6)(^{\circ}\text{C}) * 1,16}{96.065 * 0,81} = 1,43h$$

- **Considerando una acumulación del 80%:**

Capacidad de acumulación =  $0,8 * 2.700 = 2.160$  l

Se puede tomar un depósito de 2.500l, teniendo una acumulación superior:

1. Diámetro: 1.660mm
2. Altura: 2.015mm

$$F_{uso\ acumulación} = 0,63 + 0,14 * \frac{2.015}{1.660} = 0,80 \text{ (80\%)}$$

$\eta_{prdACS}$  , estimado en el 81%

Requeriría una potencia de:

$$P_{Calderas} = [Q_{Punta} * (T_{ACS} - T_{AFCH}) - V_{acumulación} * (T_{acumulación} - T_{AFCH}) * F_{uso\ acumulación}] * \frac{1,16}{\eta_{prdACS}} = [2.700 * (60 - 6) - (2.500 * 0,80) * (70 - 6)] * \frac{1,16}{0,81} = 25.491W = 25,5kW$$

Con dicha potencia se estima un tiempo de recuperación del calentamiento del depósito de:

$$\frac{2.500 (l) * (70 - 6)(^{\circ}C) * 1,16}{25.491 * 0,81} = 9h$$

Queda un tiempo de recuperación excesivo, al ser un polideportivo y utilizarse las duchas de manera continuada durante el día, se requiere que la instalación sea capaz de cubrir tanto la hora punta como los usos continuados a lo largo del día. Por tanto es necesario realizar el cálculo de la potencia necesaria en función del tiempo de recuperación de calentamiento del depósito requerido, se establece dos horas para la recuperación:

$$Potencia = 2.500 (l) * (70 - 6)(^{\circ}C) * 1,16(Wh/l \cdot ^{\circ}C) / (2h * 0,81) = 114,57kW$$

- **Considerando una acumulación del 100%:**

Capacidad de acumulación de 2700 l.

Se pueden tomar un depósito de 3.000l, cubriendo más del 100% de la acumulación:

1. Diámetro: 1.660mm
2. Altura: 2.580mm

$$F_{uso\ acumulación} = 0,63 + 0,14 * \frac{2.580}{1.660} = 0,85 (85\%)$$

$\eta_{prdACS}$  , estimado en el 81%

Requeriría una potencia de:

$$P_{Calderas} = [Q_{Punta} * (T_{ACS} - T_{AFCH}) - V_{acumulación} * (T_{acumulación} - T_{AFCH}) * F_{uso\ acumulación}] * \frac{1,16}{\eta_{prdACS}} = [2.700 * (60 - 6) - (3.000 * 0,82) * (70 - 6)] * \frac{1,16}{0,81}$$



Se llega a una potencia negativa, en los sistemas de acumulación total la potencia de calderas vendrá impuesta por un tiempo preestablecido para calentamiento de los depósitos, del orden de 1 o 2h:

$$Potencia = 2.700 (l) * (70 - 6) (^\circ C) * 1,16 (Wh/l \cdot ^\circ C) / (2h * 0,81) = 123,73kW$$

Analizando las posibles soluciones, la más adecuada para el caso que concierne a este proyecto sería una acumulación del 80%, que realmente por la elección del depósito queda una acumulación mayor de ese porcentaje. Esta acumulación impone una potencia de calderas no demasiado excesiva y con poco más del 80% de acumulación, la instalación no debería dar problemas en las puntas ya que es un porcentaje de acumulación bastante elevado.

$$-P_{Calderas} = 114,57kW$$

-Depósito de acumulación de 2.500l.

Hay que tener en cuenta que para la estimación de la potencia de la caldera se ha realizado los cálculos con la temperatura de red más desfavorable del año, que sólo se da en los meses de diciembre y enero, lo que implica que en la mayor parte del tiempo la potencia disponible va a ser superior a las necesidades. Con ello aseguramos cubrir las necesidades si se da el caso de haber un mayor consumo en la punta, o si excepcionalmente hay más usuarios diarios que los estimados.

## 7. DISEÑO DEL SISTEMA AUXILIAR DE ENERGÍA, CALDERAS

En la instalación habrá un sistema auxiliar para cubrir la demanda de ACS y la demanda para el calentamiento de las piscinas. Las calderas tendrán que proporcionar toda la energía demandada de su correspondiente circuito.

Aunque también se va a diseñar una instalación de captadores solares, no se puede prescindir del sistema de calderas convencional ya que el sistema solar no podrá cubrir toda la demanda energética durante todos los meses del año. Por tanto, se debe dimensionar de forma que aporte todo el calor necesario en la instalación sin tener en cuenta lo que pueda aportar el sistema solar. Por otra parte, se deberá suplir la demanda energética en caso de mantenimiento o reparación de la instalación solar.

La instalación existente cuenta con dos calderas con quemador de gasóleo que serán sustituidas por calderas de condensación de gas natural, con un rendimiento muy superior a las actualmente instaladas, sobre todo a cargas parciales, y con la posibilidad de trabajar con menores temperaturas. La regulación será telegestionada para controlar una mejor eficiencia energética de los sistemas instalados.

Este cambio visto desde el punto de vista de eficiencia energética, supone un ahorro energético además de una reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.

Por lo general, la instalación de calderas de condensación de gas natural es uno de los sistemas más empleados en este tipo de instalaciones. El gas natural es más limpio que el gasóleo y con el sistema de recuperación del calor latente mediante el sistema de condensación resulta una alternativa eficaz. Una vez instalada, puede ser utilizado tanto como calefacción como para la producción de agua caliente. Además posee una regulación del calor excelente y no requiere de tanques de combustible, evitando los costes de mantenimiento y la necesidad de hacer un pedido de combustible periódicamente.

Por el contrario presenta algunas desventajas, como son, tener que hacer una instalación previa, que implica la instalación de las tuberías por las que circulará el gas natural o la necesidad de tener que pagar la parte de factura por tener contador y tener cubierta una potencia, y no solo pagar por el combustible consumido.

La instalación cuenta con las siguientes calderas de gasóleo:

- Caldera Roca CPA 200 de 200.000 kcal/h, de rendimiento teórico de 92.5% con quemador Lamborguini de potencia 80.000-150.000 kcal/h, presión de conexión 10-25 kg/cm<sup>2</sup>, tensión de mando 220 V y potencia eléctrica 220 W
- Caldera Ferroly Modelo 300 de potencia 260.000 kcal/h, de rendimiento teórico de 90.91% con quemador Lamborguini modelo ECO 30/2 00870/60 de potencia 143.640-308.047 kcal/h, presión de conexión 10-25 kg/cm<sup>2</sup>, tensión de mando 220 V y potencia eléctrica 750 W

Según lo estudiado en apartados anteriores, para la generación de agua caliente sanitaria se requerirá una potencia aproximada de 115kW y para el calentamiento de las piscinas una potencia de 206,4kW, esta última potencia viene impuesta por la potencia necesaria para la puesta a régimen de las piscinas. Así que se requiere de unas calderas que sean capaces de suministrar como mínimo dichas potencias. Como se puede observar, se ha reducido considerablemente las potencias de las calderas anteriores, pero sin que ello suponga un empeoramiento de las condiciones energéticas del recinto, cubriendo las necesidades para el confort de los usuarios.

## 7.1 Descripción de los nuevos equipos

A continuación se relacionan los aparatos a los que se les dará suministro de gas natural con sus características.

| <b>2 Ud. Caldera de condensación a gas:</b> |                     |
|---|---------------------|
| <b>Marca:</b>                               | VISSMANN            |
| <b>Modelo:</b>                              | Vitocrossal 200 CM2 |
| <b>Potencia térmica útil:</b>               |                     |
| TI/TR = 50/30 °C                            | 47-186 kW           |
| TI/TR = 80/60 °C                            | 43-170 kW           |
| <b>Carga térmica nominal</b>                | 44-175 kW           |
| <b>Presión de trabajo:</b>                  | 4 bar               |
| <b>Contenido de agua:</b>                   | 306 litros          |
| <b>Peso:</b>                                | 331 kg              |
| <b>Rendimiento a potencia nominal:</b>      | 95 %                |
| <b>Rendimiento a carga parcial (30%):</b>   | 106 %               |
| <b>Marcado CE:</b>                          | CE-0085 BQ 0021     |

Tabla 7.1 Características técnicas calderas

Se ha seleccionado dos calderas de 175kW de potencia nominal. La potencia total que serán capaces de suministrar las calderas cubrirán las demandas energéticas del centro en su totalidad.

En las calderas de la marca VISSMANN, la superficie lisa de intercambio térmico de acero fino permite que el agua de condensación que se produce fluya simplemente hacia abajo. Esto, junto a la superficie lisa de acero inoxidable, produce un efecto permanente de autolimpieza,

lo que garantiza a largo plazo un elevado aprovechamiento de la condensación, un aumento de la vida útil y una reducción de los gastos de mantenimiento.

El elevado rendimiento que poseen se alcanza a través del principio de contracorriente del gas de combustión y del agua de la caldera, así como por la intensa turbulencia de los gases de combustión a través de la superficie de intercambio.

Por normativa, según la instrucción IT 1.2.4.1.2.1. del RITE, *“Requisitos mínimos de rendimientos energéticos de los generadores de calor”*, los generadores de calor deben cumplir con las siguientes especificaciones:

- El rendimiento a potencia útil nominal y una temperatura media del agua en la caldera de 70°C debe cumplir:

$$\eta > 90 + 2 \cdot \log P_n$$

Para las calderas seleccionadas, en función de la potencia nominal:

$$\eta_{min} = 90 + 2 \cdot \log 175 = 94,49$$

$$\eta = 95 > 94,49$$

- El rendimiento a carga parcial de 0,3·P<sub>n</sub> y a una temperatura media del agua en la caldera igual o superior a 50 °C debe cumplir:

$$\eta > 86 + 3 \cdot \log P_n$$

Para las calderas seleccionadas:

$$\eta_{min} = 86 + 3 \cdot \log 186 = 92,81$$

$$\eta = 106 > 92,81$$

Se cumplen las especificaciones de rendimiento en ambos casos.

Dicha instrucción técnica también especifica que los generadores de calor y frío de potencia térmica nominal mayor de 70 kW deberán disponer de un dispositivo que permita registrar el número de horas de funcionamiento del generador. Así como las bombas y ventiladores de

potencia eléctrica mayor de 20 kW también requerirán de un dispositivo que permita registrar las horas de funcionamiento del equipo.

En general, el consumo de todos los aparatos eléctricos de la sala se medirán mediante un registrador instalado en la misma sala de calderas, de manera independiente del resto del edificio.

Se va a instalar un contador de membrana para contabilizar el consumo de gas, y un contador de kilocalorías en las calderas para telegestionar el rendimiento puntual de cada caldera y registrarlo en el tiempo.

## 7.2 Consumo de energía y emisiones

Como ya se ha comentado, el consumo de energía se ve considerablemente reducido, así como las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, debido a las bajas emisiones del gas respecto al gasóleo. A modo de comparación de un combustible respecto del otro, se obtienen los siguientes resultados:

Emisiones de CO<sub>2</sub> del gas natural: 0,204 kg CO<sub>2</sub>/kWh

Emisiones de CO<sub>2</sub> del gasóleo: 0,287 kg CO<sub>2</sub>/kWh

- Emisiones con gas natural, con una potencia nominal total de 350 kW:

$$350 \text{ kW} \cdot 0,204 \text{ kg CO}_2/\text{kWh} = 71,4 \text{ CO}_2/\text{h}$$

- Emisiones con gasóleo, con una potencia total de 534,49 kW:

$$534,49 \text{ kW} \cdot 0,287 \text{ kg CO}_2/\text{kWh} = 153,39 \text{ kg CO}_2/\text{h}$$

La reducción de emisiones es del 53,4 % con respecto al gasóleo. Esta importante reducción de emisiones es debida tanto por el cambio de combustible como por la reducción de potencia con respecto a lo que había instalado previamente.

El consumo de combustible, considerando 12h al día y teniendo en cuenta un 60 % de funcionamiento, será:

$$350 \text{ kW} \cdot 12 \text{ h} \cdot 0,6 = 2.520 \text{ kWh/día}$$

En función de la temperatura del interior, el consumo será variable pero se estima en 10 meses de uso. Esto es:

$$2.520 \text{ kWh/día} \cdot 24 \text{ días/mes} \cdot 10 \text{ meses/año} = 604.800 \text{ kWh/año}$$

### 7.3 Sala de calderas

Las calderas se ubicarán en la sala de calderas existente, ubicada en la planta sótano del centro deportivo. En ella se encuentran además, los aparatos de la impulsión de instalación hidráulica, bombas, vasos de expansión y acumuladores. Se trata de una sala de calderas para alimentar el servicio de calefacción a una red de radiadores, ACS y calentamiento de los vasos de las piscinas. Desde la sala de calderas salen circuitos con sus correspondientes válvulas, bombas y retornos independientes.

Al tratarse de generadores a gas para calefacción debemos acogernos a la norma UNE 60601/2000, *“Instalación de calderas a gas para calefacción y/o agua caliente de consumo calorífico nominal (potencia nominal) superior a 70kW”* [12]. Se puede ver en detalle todos los elementos que indica la norma UNE 60601, así como elementos característicos de la sala como son las calderas en el plano adjunto.

El acceso a la sala de calderas se realiza a través de un vestíbulo mediante una puerta hoja simple de fácil apertura. La mencionada sala de calderas tiene una superficie aproximada de 30m<sup>2</sup>, con altura libre de 4 m.

Los cambios que afectan a la instalación hidráulica son exclusivamente la sustitución de las calderas actuales por una de condensación a gas de mucho mayor rendimiento. La instalación contará con un caudalímetro para la telegestión del rendimiento puntual de cada caldera y su registro temporal, y con la instalación de una válvula controladora de flujo (TEA) para llevar los sistemas al punto de trabajo óptimo. Estas modificaciones se pueden ver en los esquemas de principio de la instalación.

Además se modificarán las instalaciones de generación de ACS, la instalación contaba con un depósito interacumulador de 1.000l de capacidad que será sustituido por un depósito acumulador de 2.500l.

La sala también albergará el contador de kilocalorías, necesario para el cálculo y monitorización del rendimiento.

#### Ventilación de la sala de calderas

La sala de calderas puede tener o no comunicación directa con el exterior a través de pared o ventana, de superficie suficiente. En caso de que no tenga esa comunicación, la ventilación será forzada o natural conducida desde el exterior, a través de distintos conductos de entrada y salida de aire de la sección necesaria.

La entrada de aire, así como la ventilación, se puede conseguir por medio de rejillas u orificios en contacto con el exterior o a través de conductos, protegidos para evitar la entrada de cuerpos que los puedan obstruir.

Cuando la entrada directa del aire por ventilación natural no sea insuficiente, debe disponerse de un sistema de ventilación forzada.

La sala de calderas del edificio no tiene comunicación directa al exterior, y se encuentra en un primer sótano, por lo que la ventilación será forzada para la ventilación inferior, y ventilación natural al exterior para la ventilación superior. El funcionamiento del sistema de ventilación forzada debe ser el siguiente:

- Encendido:
  - Arrancar el ventilador.
  - Mediante detector de flujo o presostato debe activarse un relé temporizado que garantiza cinco renovaciones a la sala de calderas.
  - El relé temporizado da señal para abrir la electroválvula, normalmente cerrada e instalada preferentemente en el exterior.
- Apagado:
  - Parar la caldera.
  - Interrumpir la alimentación eléctrica de la electroválvula de gas exterior para cortar el paso de gas a la sala.
  - Mantener mediante un temporizador la ventilación en la sala de calderas.

En caso de avería de cualquiera de los mecanismos o automatismos anteriores, o detección de gas, el sistema debe dar señal de avería, parando completamente la instalación. Su rearme debe ser manual.

En cualquier caso se preverá un control automático que corte el suministro de gas al quemador o quemadores en el caso de fallo en el sistema mecánico de introducción de aire.

#### A.-Ventilación inferior

Por la ubicación de la sala de calderas, la ventilación inferior ha de ser forzada. Por normativa, en las entradas de aire inferiores, el borde superior de los orificios o rejilla debe distar como máximo 50 cm del nivel del suelo o de cualquier otra abertura distinta de la entrada de aire practicada en la sala.

Al ser la entrada de aire forzada mecánicamente, el caudal (Q) necesario será:

$$Q \left( \frac{m^3}{h} \right) = 10 \times \text{Superficie Sala (m}^2\text{)} + 2 \times \Sigma \text{Consumo equipos (kW)}$$
$$= 10 \times 30 + 2 \times 350 = 1.000 \text{ m}^3/\text{h}$$

La sala de calderas ya cuenta con una entrada de aire forzada para un caudal de 1000m<sup>3</sup>/h con un diámetro de 30cm con cortafuegos, por lo que la misma se aprovechará para los nuevos equipos.

## B.-Ventilación superior

La evacuación del aire interior sólo puede efectuarse a través de orificios o conductos que comuniquen directamente al exterior, si es posible a través de dos orificios en partes distintas. Se colocará una abertura en la parte alta de la sala de calderas de modo que la parte inferior esté a menos de 30 cm del techo. En caso de que haya un obstáculo la abertura podrá colocarse con la parte superior entre 30 y 50 cm del techo.

Cuando la evacuación es a través de un conducto, este siempre debe ser ascendente.

Debido a las características de la sala, la ventilación del cuarto de calderas se realizará por tiro natural a través de conducto construido con materiales incombustibles con salida al aire libre.

La sección total debe ser superior a  $250 \text{ cm}^2$ , y siguiendo la fórmula:

$$\text{Superficie (cm}^2\text{)} = 20 \times \text{Superficie Sala (m}^2\text{)} = 600 \text{ cm}^2$$

Si la sección es rectangular debe aumentarse un 5% y la relación entre el lado mayor y el lado menor del conducto debe ser menor que 1,5. Por tanto se requiere una sección como mínimo de  $630 \text{ cm}^2$ .

En la sala se dispone de un conducto de salida al exterior con una sección de 100 por 60 cm con cortafuegos. Se aprovechará dicho conducto ya que cumple con las especificaciones impuestas por la normativa.

## Protección en la sala de calderas

### A.-Condiciones generales

Todos los accesos a la sala estarán debidamente marcados con carteles informativos.

Se colocarán válvulas de seguridad en todos los circuitos, dirigidas al desagüe al exterior de la sala o sumideros. También la caldera dispone de sistemas de seguridad por sobrecalentamiento de rearme manual, y válvula de gas de seguridad.

Todas las tuberías y elementos que puedan tener temperaturas elevadas se aislarán totalmente.

Las distancias a paredes y entre calderas se pueden ver en los planos de detalle de planta de la sala de calderas.

Se colocará una seta de corte en el exterior de la sala, o en el interior cerca de la entrada, que en caso de activación cortará corriente eléctrica del cuarto de calderas, a excepción de la luz de emergencia.



Todo el cableado eléctrico que no discurra bajo tubo de acero, será libre de halógeno 1kV.

Se colocará también una luz de emergencia sobre todas las puertas en el interior de la sala.

#### B.- Sistema de detección

Se dispone de un sistema de detección de fugas y corte del gas en caso de fugas mediante detectores colocados en la parte alta de la sala cerca del techo, y electroválvula que cortará el paso de gas. El sistema se rearmará manualmente cuando las condiciones retornen a la normalidad.

#### C.- Sistema de corte

Se colocará una electroválvula de corte de rearme manual del tipo todo/nada instalada en la línea de alimentación de gas a la sala de máquinas y ubicada en el exterior del recinto. Será del tipo normalmente cerrada de forma que ante una falta de energía auxiliar de accionamiento se interrumpa el suministro de gas. Esta electroválvula es de apertura lenta y de cierre rápido. En caso de que el sistema de detección sea activado, la reposición del suministro será manual.

#### D.- Protección contra incendios

La sala de calderas satisfará las condiciones de protección contra incendio que establece la reglamentación vigente para los locales de riesgo especial.

El local cumplirá con las condiciones mínimas establecidas según dicho riesgo:

|   | Riesgo bajo           | Riesgo medio            | Riesgo alto             |
|---|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Resistencia al fuego de la estructura portante  | R 90                  | R 120                   | R 180                   |
| Resistencia al fuego de las paredes y techos que separan la zona del resto del edificio | EI 90                 | EI 120                  | EI 180                  |
| Vestíbulo de independencia en cada comunicación de la zona con el resto del edificio    | -                     | Sí                      | Sí                      |
| Puerta de comunicación con el resto del edificio  | EI <sub>2</sub> 45-C5 | 2xEI <sub>2</sub> 30-C5 | 2xEI <sub>2</sub> 45-C5 |
| Máximo recorrido hasta alguna salida del local  | ≤ 25m                 | ≤ 25m                   | ≤ 25m                   |

La distribución de detectores de incendios termovelocimétricos se realizará según la siguiente tabla:

| Superficie local (m <sup>2</sup> ) | Tipo detector | Altura local (m) | S <sub>v</sub> (m <sup>2</sup> ) | D <sub>max</sub> (m) |
|------------------------------------|---------------|------------------|----------------------------------|----------------------|
|------------------------------------|---------------|------------------|----------------------------------|----------------------|

|           |                       |            |    |     |
|-----------|-----------------------|------------|----|-----|
| $\leq 30$ | UNE-EN 54-5, Clase A1 | $\leq 7,5$ | 30 | 4,4 |
| $> 30$    | UNE-EN 54-5, Clase A1 | $\leq 7,5$ | 20 | 3,5 |

La sala de calderas se ubica en el edificio principal, separada por tabiques del resto del edificio, constituyendo un sector de incendio independiente, estable y resistente al fuego según norma UNE 23093, RF-240, como mínimo, excepto las puertas. En este caso al contar con una potencia superior a 200 kW, la puerta exterior será RF-120 como mínimo.

Se colocarán un mínimo de dos detectores, a razón de uno por cada 25 m<sup>2</sup>, por lo que en el caso concierne a este proyecto, se colocarán dos unidades detectores de incendio, y otros dos detectores de gas.

En la sala de calderas se colocarán los extintores conforme a los siguientes criterios:

- Se instalará uno en el exterior de la sala de calderas y próximo a la puerta de acceso.
- Se instalarán los extintores necesarios en el interior de la sala de calderas para que la longitud del recorrido real hasta alguno de ellos, incluido el colocado en el exterior sea inferior a 15m.
- No se colocarán extintores sobre los quemadores.

#### E.-Medidas de seguridad de la caldera

Las calderas tienen sistemas de seguridad con rearme manual para prevenir sobre temperatura, con un termostato que se activa a los 110 °C, así como para prevención de sobrepresiones. Se colocará una válvula de seguridad a la salida de cada generador.

Todos los sistemas se complementan con una centralita electrónica de encendido y un piloto de señalización y desbloqueo.

#### Cálculo de la chimenea

La chimenea estará prefabricada en acero inoxidable con aislamiento interior y resistencia a los humos, calor y posibles corrosiones ácidas que se puedan originar de acuerdo a UNE 123-001 y a ITE 02.14. Será el lugar por donde se efectúe la salida de humos.

No podrá utilizarse para otros usos y deberá ser estanca. La sección del conducto de humos será circular. El conducto de unión del tubo de humos a la caldera será metálico y se colocará de manera que sea fácilmente su desconexión. La unión será soportada rígidamente y estanca.

La disposición conveniente de los canales y conductos de humos permitirá la no formación de bolsas de gas y preverá la evacuación de condensados.

Se ha previsto en la parte más inferior del conducto de humos un registro de limpieza en fondo de saco.

Contará con los orificios de medida y control necesarios para las condiciones de combustión. Uno a la salida de la caldera y otro a la salida de humos de la chimenea. Los registros para la comprobación de las condiciones de combustión se realizarán en la sala de calderas o al exterior, nunca en comunicación con locales interiores. Los diámetros de los orificios de medida serán de entre 5 y 10 mm.

En cuanto al aislamiento térmico de la chimenea, estará aislada en todo su recorrido con el fin de evitar el enfriamiento de los humos. El material aislante llevará un acabado exterior que lo protegerá de las acciones mecánicas y de los agentes presentes en el aire ambiente.

El cálculo de las chimeneas se ha realizado mediante un software de DINAK.

### Cálculo vaso de expansión

En las redes de tuberías, al aumentar la temperatura, aumenta también el volumen del agua y este aumento provoca un incremento del volumen disponible, debido a la dilatación simultánea de los componentes del circuito.

Este hecho provoca un aumento de la presión en el circuito. Los sistemas de expansión son los encargados de compensar este aumento de volumen del agua para que la presión del circuito no sobrepase la presión nominal de sus componentes.

Por tanto el circuito de las calderas debe contar con un vaso de expansión con el fin de evitar sobrepresiones. Se realizará el cálculo del volumen necesario de los vasos de expansión, en este caso, por el tipo de instalación, los vasos de expansión más adecuados son los vasos de expansión cerrados.

Un vaso de expansión cerrado consiste en un recipiente o depósito de agua conectado a la tubería que alberga en su interior una membrana elastómera formando una cámara de aire, al aumentar la presión el agua comprime este aire y aumenta el volumen de agua en el vaso aliviando así el exceso de volumen en el circuito.

Como medida de seguridad, es fundamental que los vasos estén conectados a la caldera directamente y sin ninguna llave de paso que pueda cortar esta unión, salvo para poner la caldera en contacto con la atmósfera.

Para el cálculo del volumen del vaso de expansión se puede emplear la siguiente fórmula:

$$V_{VE} = V * Ce * Cp$$

Siendo:

**V<sub>ve</sub>**, Volumen útil del vaso de expansión (l).

**V**, Volumen total del circuito (l).

**Ce**, Coeficiente de dilatación del fluido, el cual se calcula utilizando la fórmula para temperaturas comprendidas entre 70 °C y 140°C:

$$Ce = (-33,48 + 0,738 \times T) \times 10^{-3}$$

**T**: temperatura máxima de funcionamiento del circuito=100°C

**Cp**: Coeficiente de presión del gas el cual se obtiene a partir de la expresión:

$$Cp = \frac{PM}{PM - Pm}$$

**PM**: Presión máxima de diseño del vaso.

**Pm**: Presión mínima de trabajo

En las siguientes tablas se recoge el volumen de tuberías que necesitamos para el cálculo de los vasos de expansión.

## 1. Contenido total de agua del circuito

### 1.1 Tuberías

| Diámetro interior<br>[mm]              | Volumen unitario<br>[l/m] | Longitud<br>[m] | Volumen<br>[l] |
|--|---------------------------|-----------------|----------------|
| 16,45                                  | 0,2125                    | 100             | 21             |
| 21,95                                  | 0,3784                    | 100             | 38             |
| 27,7                                   | 0,6026                    | 80              | 48             |
| 36,05                                  | 1,0207                    | 60              | 61             |
| 42,05                                  | 1,3887                    | 50              | 69             |
| 53,4                                   | 2,2396                    | 80              | 179            |
| 68                                     | 3,6317                    | 150             | 545            |
| 80,25                                  | 5,058                     | 30              | 152            |
| 105                                    | 8,659                     | 0               | 0              |
| 130                                    | 13,2732                   | 10              | 133            |
| 155,5                                  | 18,9911                   | 0               | 0              |
| Contenido de agua en tuberías (litros) |                           |                 | 1.246          |

**1.2 Depósitos y Equipos**

| Equipos / Depósitos                                      | Volumen [l] |
|--|-------------|
| Calderas   | 612         |
| Radiadores   | 300         |
| <b>Contenido de agua en depósitos y equipos (litros)</b> | <b>912</b>  |

**1.3 Contenido total**

|  |              |
|--|--------------|
| Tuberías   | 1.246        |
| Depósitos y equipos                                    | 912          |
| Volumen de seguridad (20%)                             | 432          |
| <b>Contenido total de agua en el circuito (litros)</b> | <b>2.590</b> |

**2. Volumen útil del vaso de expansión**

|   |              |
|---|--------------|
| Fluido  | Agua         |
| Concentración del glicol (%)                  | 0            |
| Temperatura máxima (°C)                       | 80           |
| Coefficiente de expansión $C_e$               | 0,0203       |
| <b>Volumen útil <math>V_u</math> (litros)</b> | <b>52,58</b> |

**3. Volumen total del vaso de expansión**

|   |                  |
|---|------------------|
| Presión de tarado de la válvula de seguridad (relativa) (bar) | 4                |
| Presión mínima en el vaso de expansión (relativa) (bar)       | 1,5              |
| Presión máxima $P_M$ (absoluta) (bar)                         | 4,6              |
| Presión mínima $P_m$ (absoluta) (bar)                         | 2,5              |
| Coefficiente de presiones $C_p$                               | 2,19             |
| <b>Volumen total del vaso de expansión (litros)</b>           | <b>115,14363</b> |

Tabla 7.2 Cálculo del volumen del vaso de expansión

NOTA: Símbolos, unidades y definiciones según norma UNE 100155:2004.

Una vez realizado los cálculos se decide mantener los dos vasos de expansión ya existentes en la instalación cada uno colocado en los circuitos de retorno de cada caldera, con 250 litros de capacidad por vaso.

## 7.4 Diseño de la instalación receptora de gas

La sustitución de las calderas de gasóleo existentes en el centro deportivo por calderas de gas natural, implica el diseño e instalación de la red de tuberías por las que circulará el gas natural desde la acometida, ubicada en el exterior del recinto, hasta la toma de aspiración de las calderas.

### Consumos previstos

Para realizar el diseño de la red de tuberías es necesario conocer el consumo previsto de gas natural, este dato se obtiene mediante la potencia nominal de los nuevos aparatos. Una vez conocido el caudal necesario de gas natural, se procede al cálculo de los diámetros de las tuberías y pérdidas de carga.

En este caso se dispone de dos calderas de la marca VIESSMANN, modelo Vitocrossal 200 CM2 de 175 kW de potencia a carga térmica nominal, haciendo una potencia total de 350 kW.

La potencia total de la Sala de Calderas es de 301.435,41 kcal/h.

El consumo o caudal volumétrico de la sala de calderas se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Potencia nominal aparatos (kcal/h)}}{\text{Poder calorífico del gas (kcal/m}^3\text{)}} = \text{Consumo (m}^3\text{/h)}$$

$$Q = \frac{301.435,41}{9.500} = 31,73 \text{ m}^3/\text{h}$$

Este será el dato de partida para el diseño de los conductos por los que circulará el gas desde la acometida hasta las calderas.

## Descripción de la instalación receptora de gas

El recorrido de la instalación receptora de gas es el comprendido entre la válvula de acometida de la compañía suministradora de gas natural y los aparatos de la sala de calderas. En el exterior se realizará una etapa de regulación desde M.O.P. inferior a 5 bar hasta 22 mbar.

La mencionada válvula de acometida se encuentra colocada en el exterior, en el lugar indicado en los planos, donde conecta la instalación común con la estación de regulación. En el cerramiento exterior se encuentra el equipo de regulación. Tras salir del armario de regulación y todavía fuera del recinto, se colocará un armario con el contador de la compañía suministradora de gas.

Tras salir del armario de contador, la tubería entra en la finca donde pasa a ser enterrada hasta la fachada del edificio. Recorre recta y aérea la fachada, y cuando está frente al semisótano del mismo edificio donde se ubica la sala de calderas, se saca una toma para darle servicio. Antes de entrar en la sala se colocará llave de corte y dentro de la sala estabilizador y un contador de membrana G-25.

Una vez dentro, continua vista y aérea hasta el lugar donde se encuentran los aparatos de la sala de calderas.

Los diámetros de tubería empleados para la presente instalación se sacan mediante los cálculos más adelante explicados, en función del caudal que va a circular por el interior y la longitud de cálculo. Dependerá en cada caso de la presión inicial que se disponga y de la final al término de cada tramo, teniendo en cuenta que los aparatos necesitan una presión mínima por debajo de la que nunca se podrá operar.

En las uniones con las llaves de paso, etc., que tengan que ser roscadas, se empleará cinta especial de gas, homologada por la dirección general de industria. Se intentarán evitar en todo lo posible este tipo de uniones. También se podrá realizar uniones mediante bridas, para tramos de instalación que por necesidades particulares de la instalación, se prevea un posible desmontaje en algún momento determinado.

## Pruebas

Se realizarán las correspondientes pruebas de resistencia mecánica y de estanqueidad según se especifica en el reglamento de instalaciones de gas cuya presión de servicio sea igual o inferior a 5 bar, teniendo que dar resultados satisfactorios antes de su puesta en marcha. La prueba se efectuará para cada parte de la instalación en función de la presión de servicio a la que vaya a trabajar, pudiendo realizarse de forma completa o por tramos y siempre antes de ocultar, enterrar o empotrar tuberías.

Para baja presión, se realizarán las pruebas de estanqueidad exclusivamente llenando la instalación con aire o gas inerte. Una vez llena la instalación, y pasados unos momentos para la estabilización de la temperatura y presión de dicho aire, se dejará el manómetro indicador de forma estable durante quince minutos como mínimo. Durante este tiempo se maniobrarán las válvulas de paso para comprobar su perfecta estanqueidad, tanto en posición cerrada como en posición abierta. La presión de las pruebas será de 1000 mmcda (para baja presión). Se considerará satisfactoria la prueba, si durante el tiempo antes mencionado, no se acusa descenso del manómetro. La prueba de estanqueidad se complementará comprobando con agua jabonosa o producto similar todas las juntas y accesorios de la instalación.

El resultado de la prueba de estanqueidad debe ser documentado de acuerdo a la legislación vigente.

### Modelos de cálculo

Los diámetros de las tuberías y las pérdidas de carga de las instalaciones se calcularán según las fórmulas simplificadas de Renouard, atendiendo a la norma UNE 62620, Anexo 1, siempre que se cumplan las siguientes condiciones:

- El coeficiente  $Q/D$  debe ser menor que 150.
- El número de Reynolds ( $Re = T(Q/D)$ ) debe ser menor que 2.000.000.

Donde los valores de  $T$  serán los siguientes:

$$1^{\text{a}} \text{ Familia: } T = 16.000$$

$$2^{\text{a}} \text{ Familia: } T = 22.300$$

$$3^{\text{a}} \text{ Familia: } T = 72.000$$

Para el gas natural se usará el  $T$  correspondiente a la segunda familia.

### Fórmula para Baja Presión ( $P < 500 \text{ mmcda}$ )

$$P_i - P_f = \left[ 232.000 \cdot dr \cdot (1,2 \cdot L) \cdot \left( \frac{Q^{1,82}}{D^{-4,82}} \right) \right]$$

Siendo:

$P_i$  = Presión de entrada absoluta en mbar.

$P_f$  = Presión final absoluta en mbar.

$D$  = Diámetro interior de tuberías en mm.



$Q$  = Caudal que circulará por la tubería expresado en  $m^3/h$ .

$dr$  = densidad relativa del gas.

$L$  = Longitud de la tubería expresada en m.

El caudal volumétrico de la sala de calderas se determina mediante la ecuación utilizada en el apartado de Consumos previstos. Este caudal se ha de multiplicar por un factor de corrección igual a 1,1, quedando la siguiente expresión:

$$1,1 \cdot \frac{\text{Potencia nominal aparatos (kcal/h)}}{\text{Poder calorífico del gas (kcal/m}^3\text{)}} = \text{Consumo (m}^3\text{/h)}$$

Las fórmulas para el cálculo del diámetro y la pérdida de carga empleadas son:

1.  $\Delta P = 23.200 * S * L * Q^{1,82} * D^{-4,82}$
2.  $D = \left( \frac{23.200 * S * L * Q^{1,82}}{\Delta P} \right)^{0,2075}$
3.  $V = \frac{354 * Q}{P * D^2}$

Siendo:

$\Delta P$ , Caída de presión relativa en mbar

$S$ , Densidad relativa respecto al aire, 0,62 aproximadamente para el gas natural

$L$ , Longitud equivalente en metros

$Q$ , Caudal en  $m^3/h$  normales

$D$ , diámetro interior de la tubería en mm

$V$ , Velocidad en m/s

$a$ , Sección de la tubería.

### Determinación de la velocidad

Para realizar los cálculos se considerará que la velocidad en los conductos no deberá sobrepasar nunca los siguientes valores:

- En interior de viviendas: 5 m/s
- En conducciones generales : 20 m/s

- En columnas ascendentes: 10 m/s

La velocidad admisible se calcula mediante la siguiente expresión:

$$V = 353 \cdot Q \cdot \frac{1}{P_f + 1} \cdot \frac{1}{D^2}$$

Siendo:

$P_f$  = Presión final absoluta en bar.

$D$  = Diámetro interior de tuberías en mm.

$Q$  = Caudal que circulará por la tubería expresado en m<sup>3</sup>/h.

### Cálculos de la instalación de gas

| TRAMOS      | Longitud (m) | Caudal (m <sup>3</sup> /h) | Velocidad (m/s) | Pi (mbar) | Pf (mbar) |
|-------------|--------------|----------------------------|-----------------|-----------|-----------|
| tramo A-B   | 1            | 34,90                      | 8,34            | 150,00    | 149,70    |
| tramo B-C   | 120          | 34,90                      | 10,64           | 149,70    | 92,48     |
| tramo C1-C2 | 1            | 34,90                      | 6,47            | 92,47969  | 92,34     |
| tramo C2-D  | 38           | 34,90                      | 6,51            | 92,33581  | 86,87     |
| Tramo D-E   | 18           | 34,90                      | 4,32            | 20,00     | 19,18     |
| Tramo E-C1  | 1            | 17,45                      | 3,47            | 19,18     | 19,13     |
| Tramo E-C2  | 4            | 17,45                      | 3,47            | 19,13     | 18,97     |

| TRAMOS      | Delta tramo P (mbar) | Delta total P (mbar) | D int | Diámetro comercial |
|-------------|----------------------|----------------------|-------|--------------------|
| tramo A-B   | 0,30                 | 0,30                 | 35,9  | Ac 1 1/4"          |
| tramo B-C   | 57,22                | 57,52                | 32,6  | Pe 40 mm           |
| tramo C1-C2 | 0,14                 | 57,66                | 41,8  | Ac 1 1/2"          |
| tramo C2-D  | 5,47                 | 63,13                | 41,8  | Ac 1 1/2"          |
| Tramo D-E   | 0,82                 | 0,82                 | 53    | Ac 2"              |
| Tramo E-C1  | 0,04                 | 0,87                 | 41,8  | Ac 1 1/2"          |
| Tramo E-C2  | 0,16                 | 1,03                 | 41,8  | Ac 1 1/2"          |

Tabla 7.3 Cálculo de la instalación receptora de gas

Como puede apreciarse en los cálculos, la presión resultante en los tramos finales es, después de restar las pérdidas de carga de tuberías y contador, suficiente como para hacer funcionar los aparatos perfectamente. En todos los tramos la velocidad del gas es inferior a los límites admisibles.

Las pérdidas de carga de los reguladores son determinadas por los fabricantes de dichos aparatos a través de ábacos en función del caudal que pasará por el regulador, y del caudal máximo para el que fue diseñado.

Se colocarán contadores dentro de la sala para contabilizar el consumo individual de las calderas.

### Esquema de contaje

Para dar cumplimiento a la norma UNE 60607-5, al tener un caudal inferior a 150 m<sup>3</sup>/h y consumo anual inferior a 10 GWh, la figura de contaje corresponde a la siguiente figura.

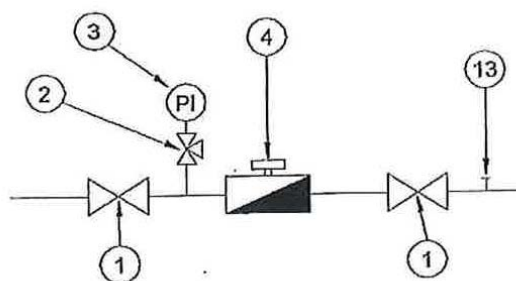


Figura 8 Esquema de contaje

1. Válvula de cierre
2. Válvula de tres vías con toma para manómetro de contrastación
3. Manómetro de esfera y 100 mm, clase 0,5
4. Contador
13. Toma de presión débil calibre (PC < 150 mbar)

## 8. INSTALACIÓN SOLAR

Se va a realizar el estudio de un sistema de captación solar para cubrir la demanda energética mínima exigida por normativa. Esto supondrá un importante ahorro energético de la ciudad deportiva que hasta el momento no contaba con ningún sistema de energía solar.

El edificio no tiene ningún otro edificio adosado y por su orientación, tampoco se ve afectado por las sombras que pudieran proyectar los edificios cercanos.

La IT 1.2.4.6.2. “Contribución de calor renovable o residual para las demandas térmicas de piscinas cubiertas” del RITE, exige que en las piscinas cubiertas una parte de las necesidades térmicas se cubran mediante la incorporación de sistemas de aprovechamiento de calor renovable o residual. Estos sistemas se diseñan para alcanzar los objetivos de ahorro de energía primaria y emisiones de CO<sub>2</sub> establecidos en el Código Técnico de la Edificación (IT 1.2.4.6.1.).

La distribución de las diferentes zonas climáticas de España quedan recogidas en el Documento Básico de Ahorro de Energía, y en función de las mismas la normativa exige unos valores de contribución solar mínimos. El caso de Alcalá de Henares (Madrid), se corresponde con la zona climática IV.



**Figura 9 Distribución de las zonas climáticas de España, Fuente DB-HE**

La normativa actual, DB-HE4 [10], establece una contribución solar mínima anual para ACS. Queda reflejado en la siguiente tabla en función de la zona climática y la demanda total de ACS.

| Demanda total de ACS del edificio (l/d) | Zona climática |    |     |    |    |
|---|----------------|----|-----|----|----|
|   | I              | II | III | IV | V  |
| 50 – 5.000                              | 30             | 30 | 40  | 50 | 60 |
| 5.000 – 10.000                          | 30             | 40 | 50  | 60 | 70 |
| > 10.000                                | 30             | 50 | 60  | 70 | 70 |

Tabla 8.1. Contribución solar mínima anual para ACS en %, Fuente BD-HE4 [10].

La contribución solar mínima anual, es la fracción entre los valores anuales de la energía solar aportada exigida y la demanda energética anual, obtenidos a partir de los valores mensuales.

Según lo estudiado, se tiene una demanda total de 9.000 l/día y la ubicación del edificio se corresponde a la zona climática IV, por ello se ha de cubrir un 60% de la demanda anual para ACS mediante energía solar.

Asimismo el DB-HE4, también establece una contribución solar mínima anual para la climatización de piscinas cubiertas.

|                    | Zona climática |    |     |    |    |
|--------------------|----------------|----|-----|----|----|
|                    | I              | II | III | IV | V  |
| Piscinas cubiertas | 30             | 30 | 50  | 60 | 70 |

Tabla 8.2 Contribución solar mínima en % para climatización de piscinas cubiertas, Fuente BD-HE4.

En función de la zona climática IV se ha de cubrir el 60% de la demanda energética anual para la climatización de las piscinas con energía solar.

A modo resumen, para el diseño de la instalación solar se parte de los siguientes datos:

#### LOCALIZACIÓN

|                                |                      |
|--------------------------------|----------------------|
| Provincia:                     | MADRID               |
| Datos climáticos               | Atlas Radiación 2012 |
| Localidad                      | Alcalá de Henares    |
| Zona Climática                 | IV                   |
| Energía Auxiliar               | General              |
| Latitud                        | 40,4                 |
| Longitud                       | 3,37 W               |
| Altitud                        | 667                  |
| Tª Mínima Histórica            | -16°C                |
| Cobertura solar mínima exigida | 60%                  |

Tabla 8.3 Cuadro resumen de los datos de partida del edificio

A la hora de realizar los cálculos para el diseño del sistema solar hay que tener en cuenta las siguientes especificaciones:

- Protección contra sobrecalentamientos: la normativa especifica que para el dimensionado de la instalación, ningún mes del año la energía producida por la instalación podrá superar el 110% de la demanda energética y no más de tres consecutivos el 100%.
- Pérdidas límite por orientación, inclinación y sombras:

| CASO                                     | ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN | SOMBRA | TOTAL |
|--|---------------------------|--------|-------|
| General                                  | 10%                       | 10%    | 15%   |
| Superposición de captadores              | 20%                       | 15%    | 30%   |
| Integración arquitectónica de captadores | 40%                       | 20%    | 50%   |

Se estudiará la cobertura para el agua caliente sanitaria y para la climatización de las piscinas por separado, y se obtendrá el número total de captadores que se deben instalar.

## 8.1 Parámetros meteorológicos

Los parámetros meteorológicos empleados para los próximos cálculos se resumen en la siguiente tabla:

| Mes                | Tª<br>Ambiente<br>[°C] | Tª de agua<br>de red<br>[°C] | Radiación solar en<br>superficie horizontal<br>[kWh/m²·día] |
|--------------------|------------------------|------------------------------|---|
| Enero              | 6                      | 6                            | 2,27  |
| Febrero            | 8                      | 7                            | 3,25  |
| Marzo              | 11                     | 9                            | 4,65  |
| Abril              | 13                     | 11                           | 5,75  |
| Mayo               | 18                     | 12                           | 6,60  |
| Junio              | 23                     | 13                           | 7,74  |
| Julio              | 28                     | 14                           | 8,04  |
| Agosto             | 26                     | 13                           | 7,00  |
| Septiembre         | 21                     | 12                           | 5,47  |
| Octubre            | 15                     | 11                           | 3,56  |
| Noviembre          | 11                     | 9                            | 2,43  |
| Diciembre          | 7                      | 6                            | 1,87  |
| <b>Total anual</b> | <b>15,58</b>           | <b>10,25</b>                 | <b>58,63</b>  |

Tabla 8.4 Parámetros meteorológicos

Todos los datos sobre radiación que se van a emplear para los cálculos de la instalación solar se han obtenido de la fuente, “Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT” publicado en 2012 por la Agencia Estatal de Meteorología [13], y los publicados en 2009 por el IDAE en el “Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura” [5].

Igualmente se consideran en el diseño, la latitud del emplazamiento de cara a establecer la inclinación más eficiente para los captadores, y la temperatura mínima histórica registrada

para el cálculo de la protección contra heladas del circuito primario, que se han obtenido de los datos meteorológicos del IDAE.

## 8.2 Ubicación y configuración de los captadores

El CTE fija una inclinación mínima y máxima, en función del ángulo de azimut y de la latitud de acuerdo a las pérdidas máximas permisibles. Las pérdidas se calculan en función del ángulo de inclinación de los captadores y del ángulo de azimut.

El ángulo de azimut ( $\alpha$ ) es el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del captador y el meridiano.

El caso que concierne a este proyecto, el campo de captadores solares se ubicará sobre cubierta plana, siguiendo la línea del edificio, de tal manera que disponemos de un azimut de  $10^\circ$ .

Conocido el ángulo de azimut, se pueden hallar los límites de inclinación aceptables de acuerdo a las pérdidas máximas respecto a la inclinación óptima establecida.

Los límites de inclinación máximos y mínimos son de  $60^\circ$  y  $7^\circ$  respectivamente. Estos se han obtenido gráficamente para una latitud de  $41^\circ$ , corrigiendo esto para la latitud la ciudad deportiva:

$$\text{Inclinación máxima} = 60^\circ - (41 - 40,4) = 59,4^\circ$$

$$\text{Inclinación mínima} = 7 - (41 - 40,4) = 6,4^\circ$$

Por tanto, en cuanto a la inclinación sobre la horizontal, se colocarán con una inclinación lo más cercana posible a la latitud,  $40,4^\circ$  N. En este caso se optará por la inclinación estándar de la suportación de los captadores solares que es  $45^\circ$ , obteniendo los siguientes resultados a través de la página web del CTE Solar:

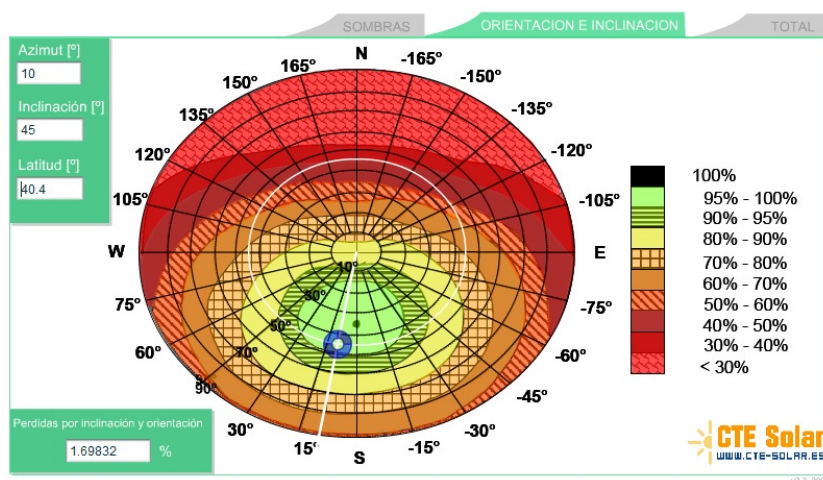


Figura 10 Pérdidas por inclinación y orientación, Fuente CTE-Solar.



Como se puede observar, implica una pérdida de radiación por desviación del sur de un 1,69%, que está dentro de los valores aceptados por el CTE.

### 8.3 Método de cálculo

Para el dimensionamiento de la instalación solar utilizaremos el método de cálculo de F-Chart, con ello obtendremos la contribución solar a la aportación de calor total necesario para cubrir las cargas térmicas, y del rendimiento medio en un largo periodo de tiempo.

El método de cálculo incluirá las prestaciones globales anuales definidas por:

- Demanda de energía térmica
- Energía solar térmica aportada
- Coberturas solares mensuales y anual
- Rendimiento medio anual

El método consiste en identificar las variables adimensionales del sistema de calentamiento solar que se emplean en la siguiente ecuación:

$$f = 1,029D_1 - 0,065D_2 - 0,245D_1^2 + 0,0018D_2^2 + 0,0215D_1^3$$

Para ello se va a llevar a cabo la siguiente secuencia de cálculo:

1. Valoración de las cargas caloríficas para el calentamiento de agua destinada a la producción de A.C.S. o calefacción.
2. Valoración de la radiación solar incidente en la superficie inclinada del captador o captadores.
3. Cálculo del parámetro  $D_1$ .
4. Cálculo del parámetro  $D_2$ .
5. Determinación de la gráfica  $f$ .
6. Valoración de la cobertura solar mensual.
7. Valoración de la cobertura solar anual y formación de tablas.

## 8.4 Características de los captadores solares.

Los captadores solares térmicos escogidos para el presente proyecto son unos captadores de alto rendimiento y elevada calidad, disponen de un alto aislamiento térmico que minimiza las pérdidas.

Los captadores solares poseen las siguientes características:

| CARACTERÍSTICAS CAPTADOR SOLAR EMPLEADO                      |                |
|--|----------------|
| Fabricante:  | ACV ESPAÑA     |
| Modelo:  | Kaplan S 2.6 V |
| Superficie del captador (m <sup>2</sup> ):                   | 2,55           |
| Largo (m):   | 2030           |
| Ancho(m):  | 1230           |
| Superficie útil (m <sup>2</sup> )                            | 2,288          |
| Área de Absorción (m <sup>2</sup> )                          | 2,26           |
| Capacidad (litros):  | 1,8            |
| Caudal de diseño (litros/h):                                 | 46-69          |
| Nº máx. colectores en paralelo                               | 12             |
| Factor de eficiencia (Rendimiento óptico (h <sub>0a</sub> )) | 80,7%          |
| Coef. pérdidas k1 (a <sub>1a</sub> ) (W/m <sup>2</sup> °C)   | 3,7            |
| Coef. pérdidas k2 (a <sub>2a</sub> ) (W/m <sup>2</sup> °C)   | 0,011          |

Tabla 8.5 Características de los captadores solares

Datos de rendimiento respecto al a superficie de apertura y temperatura media del fluido.

$$h_a = h_{0a} - a_{1a} \left( \frac{t_m - t_a}{G} \right) - a_{2a} G \left( \frac{t_m - t_a}{G} \right)^2$$

## 8.5 DISEÑO DEL SISTEMA SOLAR PARA COBERTURA DEL A.C.S

Para el agua caliente sanitaria, por las condiciones y ubicación del polideportivo, debe haber como mínimo un aporte solar del 60% de la demanda energética total.

La energía captada por los captadores se almacenará en un depósito acumulador de agua caliente. Este se instalará en serie un equipo convencional de apoyo o auxiliar, para cubrir la energía necesaria para la producción de agua caliente.

Al tratarse de una instalación polivalente, la ocupación es variable a lo largo del año, no obstante para el dimensionado de la instalación de ACS se considerará una ocupación del

100%. Aunque en Agosto y Septiembre la piscina esté cerrada, seguirá habiendo demanda de ACS por parte de los usuarios del gimnasio.

| OCUPACIÓN %              |     |           |     |
|--------------------------|-----|-----------|-----|
| Enero                    | 100 | Julio     | 100 |
| Febrero                  | 100 | Agosto    | 100 |
| Marzo                    | 100 | Setiembre | 100 |
| Abril                    | 100 | Octubre   | 100 |
| Mayo                     | 100 | Noviembre | 100 |
| Junio                    | 100 | Diciembre | 100 |
| Ocupación mediana anual: |     |           | 100 |

Tabla 8.6 Ocupación mensual en %

Se tendrá una demanda energética anual aproximada para el agua caliente sanitaria de:

$$E_{60^{\circ}\text{C}} = 9.000 \frac{\text{l}}{\text{día}} * (60 - 10,3)^{\circ}\text{C} * 1,16 \frac{\text{Wh}}{^{\circ}\text{C} \cdot \text{l}} = 518,87 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} = \mathbf{189.387,55 \text{ kWh/año}}$$

Para este cálculo se ha tomado el valor medio de la temperatura de agua de red para que la instalación no quede demasiado sobredimensionada.

Por tanto, de acuerdo a normativa, se ha de cumplir el 60% de la demanda anual, los captadores solares deberán aportar un mínimo de **113.632 kWh/año**.

Para realizar los cálculos, se parte de los siguientes datos:

| Normativa solar           | Código Técnico de la edificación |
|---------------------------|----------------------------------|
| Zona climática            | IV                               |
| Sistema de apoyo          | General                          |
| Base de cálculo           | Usuarios                         |
| Consumo A.C.S. a 60°C     | 15 Litros                        |
| Nº de usos según norma    | 600                              |
| Ocupación media %         | 100                              |
| Demanda total diaria 60°C | 9.000 litros                     |
| Demanda Anual de energía  | 189.387,55 Kwh /año              |

Tabla 8.7 Datos de partida para el diseño del sistema solar para el ACS

### 8.5.1 Valoración de las cargas caloríficas para el calentamiento de agua destinada a la producción de A.C.S.

Las cargas caloríficas determinan la cantidad de calor necesario mensual para calentar el agua destinada al consumo, calculándose mediante la siguiente expresión:

$$Qa = Ce * C * N * (t_{ac} - t_r)$$

Dónde:

**Qa**, Carga calorífica mensual de calentamiento de A.C.S. (J/mes)

**Ce**, Calor específico. Para el agua: 4.187 J/ (kg·°C)

**C**, Consumo diario de A.C.S. (l/día)

**t<sub>ac</sub>**, Temperatura del agua caliente de acumulación (°C)

**t<sub>r</sub>**, Temperatura del agua de red (°C)

**N**, Número de días del mes

|            | Calor<br>específico del<br>agua<br>[J/kg·°C] | Consumo<br>diario de<br>A.C.S.<br>[l/día] | T <sub>a</sub><br>acumulación<br>[°C] | T <sub>a</sub><br>Red<br>[°C] | Nº<br>días | Carga calorífica<br>mensual<br>calentamiento de<br>A.C.S. [kJ/mes] |
|------------|--|---|---------------------------------------|-------------------------------|------------|--|
| ENERO      | 4.187  | 9.000                                     | 60                                    | 6                             | 31         | 63.081.342   |
| FEBRERO    | 4.187  | 9.000                                     | 60                                    | 7                             | 28         | 55.921.572   |
| MARZO      | 4.187  | 9.000                                     | 60                                    | 9                             | 31         | 59.576.823   |
| ABRIL      | 4.187  | 9.000                                     | 60                                    | 11                            | 30         | 55.394.010   |
| MAYO       | 4.187  | 9.000                                     | 60                                    | 12                            | 31         | 56.072.304   |
| JUNIO      | 4.187  | 9.000                                     | 60                                    | 13                            | 30         | 53.133.030   |
| JULIO      | 4.187  | 9.000                                     | 60                                    | 14                            | 31         | 53.735.958   |
| AGOSTO     | 4.187  | 9.000                                     | 60                                    | 13                            | 31         | 54.904.131   |
| SEPTIEMBRE | 4.187  | 9.000                                     | 60                                    | 12                            | 30         | 54.263.520   |
| OCTUBRE    | 4.187  | 9.000                                     | 60                                    | 11                            | 31         | 57.240.477   |
| NOVIEMBRE  | 4.187  | 9.000                                     | 60                                    | 9                             | 30         | 57.654.990   |
| DICIEMBRE  | 4.187  | 9.000                                     | 60                                    | 6                             | 31         | 63.081.342   |

Tabla 8.8 Cargas caloríficas mensuales para la producción de ACS

### 8.5.2 Valoración de la radiación solar incidente en la superficie inclinada del captador o captadores.

Para los datos de radiación solar incidente y de los coeficientes correctores para la inclinación, se toman los datos del Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Solares Térmicas de baja temperatura del IDAE y el Atlas de Radiación solar 2012.

En el caso del factor de corrección para la inclinación, se ha empleado la tabla del Anexo X de la publicación del IDAE para una latitud de 40° y una inclinación de 45°.

Se llevarán a cabo los cálculos para un solo captador, y en función de las necesidades se buscará el número total de captadores.

| Mes          | Nº días    | Ener. Irrad. Horizontal [kWh/m².día] | Factor de corrección | Ener. Irrad. Plano incl. [kWh/m².día] | Ener. Irrad. Horizontal [kWh/mes] Por captador | Ener. Irrad. Plano incl. [kWh/mes] Por captador |
|--------------|------------|--------------------------------------|----------------------|---------------------------------------|--|---|
| ENERO        | 31         | 2,27                                 | 1,4                  | 3,178                                 | 70,37  | 98,52   |
| FEBRERO      | 28         | 3,25                                 | 1,29                 | 4,1925                                | 91,00  | 117,39  |
| MARZO        | 31         | 4,65                                 | 1,15                 | 5,3475                                | 144,15   | 165,77  |
| ABRIL        | 30         | 5,75                                 | 1,01                 | 5,8075                                | 172,50   | 174,23  |
| MAYO         | 31         | 6,6                                  | 0,91                 | 6,006                                 | 204,60   | 186,19  |
| JUNIO        | 30         | 7,74                                 | 0,88                 | 6,8112                                | 232,20   | 204,34  |
| JULIO        | 31         | 8,04                                 | 0,92                 | 7,3968                                | 249,24   | 229,30  |
| AGOSTO       | 31         | 7                                    | 1,03                 | 7,21                                  | 217,00   | 223,51  |
| SEPTIEMBRE   | 30         | 5,47                                 | 1,2                  | 6,564                                 | 164,10   | 196,92  |
| OCTUBRE      | 31         | 3,56                                 | 1,39                 | 4,9484                                | 110,36   | 153,40  |
| NOVIEMBRE    | 30         | 2,43                                 | 1,52                 | 3,6936                                | 72,90  | 110,81  |
| DICIEMBRE    | 31         | 1,87                                 | 1,5                  | 2,805                                 | 57,97  | 86,96   |
| <b>TOTAL</b> | <b>365</b> |                                      | <b>-</b>             |                                       | <b>1.786,39</b>                                | <b>1.947,32</b>                                 |

Tabla 8.9 Radiación Solar incidente mensual para un solo captador

### 8.5.3 Método F-Chart

Para el cálculo del número de captadores necesarios se emplea el método F-Chart siguiendo la secuencia de cálculo anteriormente descrita.

### A. Cálculo del parámetro $D_1$

El parámetro  $D_1$  expresa la relación entre la energía absorbida por la placa del captador plano y la carga calorífica total de calentamiento durante un mes:

$$D_1 = \text{Energía absorbida por el captador} / \text{Carga calorífica mensual}$$

- La energía absorbida por el captador viene dada por la siguiente expresión:

$$Ea = S_c F'_r(\tau\alpha) R_1 N$$

Siendo:

$S_c$  = Superficie del captador ( $m^2$ )

$R_1$  = Radiación diaria media mensual incidente sobre la superficie de captación por unidad de área ( $kJ/m^2$ )

$N$  = Número de días del mes

$F'_r(\tau\alpha)$  = Factor adimensional, que viene dado por la siguiente expresión:

$$F'_r(\tau\alpha) = F_r(\tau\alpha)_n [(\tau\alpha) / (\tau\alpha)_n] (F'_r / F_r)$$

Dónde:

$F_r(\tau\alpha)_n$  = Factor de eficiencia óptica del captador, es decir, ordenada en el origen de la curva característica del captador. Este dato viene dado por el fabricante en las características de los captadores.

$(\tau\alpha) / (\tau\alpha)_n$  = Modificador del ángulo de incidencia. En general se puede tomar como constante: **0,96** (superficie transparente sencilla) o **0,94** (superficie transparente doble).

$F'_r / F_r$  = Factor de corrección del conjunto captador-intercambiador. Se recomienda tomar el valor de **0,95**.

Los datos para la obtención del parámetro  $D_1$  se muestran en la siguiente tabla:

| Mes        | Nº días | Superficie del captador $S_c$ [m <sup>2</sup> ] | Radiación diaria media mensual $R_1$ [kJ/m <sup>2</sup> ] | Factor Adimensional= $0,807*0,96*0,95$ | Energía Absorbida por el captador ( $E_a$ ) | Carga calorífica de A.C.S. [kJ/mes] | $D_1$         |
|------------|---------|---|---|--|---|-------------------------------------|---------------|
| ENERO      | 31      | 2,288   | 11.440,80   | 0,736                                  | 597.231,19                                  | 63.081.342                          | <b>0,0095</b> |
| FEBRERO    | 28      | 2,288   | 15.093,00   | 0,736                                  | 711.636,14                                  | 55.921.572                          | <b>0,0127</b> |
| MARZO      | 31      | 2,288   | 19.251,00   | 0,736                                  | 1.004.938,26                                | 59.576.823                          | <b>0,0169</b> |
| ABRIL      | 30      | 2,288   | 20.907,00   | 0,736                                  | 1.056.178,61                                | 55.394.010                          | <b>0,0191</b> |
| MAYO       | 31      | 2,288   | 21.621,60   | 0,736                                  | 1.128.688,02                                | 56.072.304                          | <b>0,0201</b> |
| JUNIO      | 30      | 2,288   | 24.520,32   | 0,736                                  | 1.238.716,10                                | 53.133.030                          | <b>0,0233</b> |
| JULIO      | 31      | 2,288   | 26.628,48   | 0,736                                  | 1.390.056,54                                | 53.735.958                          | <b>0,0259</b> |
| AGOSTO     | 31      | 2,288   | 25.956,00   | 0,736                                  | 1.354.951,82                                | 54.904.131                          | <b>0,0247</b> |
| SEPTIEMBRE | 30      | 2,288   | 23.630,40   | 0,736                                  | 1.193.759,17                                | 54.263.520                          | <b>0,0219</b> |
| OCTUBRE    | 31      | 2,288   | 17.814,24   | 0,736                                  | 929.936,70                                  | 57.240.477                          | <b>0,0162</b> |
| NOVIEMBRE  | 30      | 2,288   | 13.296,96   | 0,736                                  | 671.735,05                                  | 57.654.990                          | <b>0,0116</b> |
| DICIEMBRE  | 31      | 2,288   | 10.098,00   | 0,736                                  | 527.134,52                                  | 63.081.342                          | <b>0,0084</b> |

Tabla 8.10 Resultados de cálculo del parámetro  $D_1$

## B. Cálculo del parámetro $D_2$

El parámetro  $D_2$  expresa la relación entre las pérdidas de energía en el captador, para una determinada temperatura, y la carga calorífica de calentamiento durante un mes:

$$D_2 = \text{Energía perdida por el captador} / \text{Carga calorífica mensual}$$

- La energía perdida por el captador viene dada por la siguiente expresión:

$$E_p = S_c F'_r U_L (100 - t_a) \Delta t K_1 K_2$$

Dónde:

$S_c$  = Superficie del captador (m<sup>2</sup>)

$$F'_r U_L = F_r U_L (F'_r / F_r) = 4,03 * 0,95 = 3,83$$

Dónde:  $F_r U_L$  = Pendiente de la curva característica del captador (coeficiente global de pérdidas del captador). En función de las características de los captadores, el coeficiente global de pérdidas se tomará igual a  $a_1 + 30a_2$ , siendo  $a_1$  y  $a_2$  los coeficientes de la ecuación de eficiencia del captador, de acuerdo con la norma UNE-EN 12975-2.

$$\text{Coeficiente global de pérdidas} = 3,7 + (30 * 0,011) = 4,03$$

$t_a$  = Temperatura media mensual del ambiente

$\Delta t$  = Período de tiempo considerado en segundos (s)

$K_1$ , Factor de corrección por almacenamiento que se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$K_1 = [kg \text{ acumulación} / (75 S_c)]^{-0,25}$$

$$37,5 < (kg \text{ acumulación}) / (m^2 \text{ captador}) < 300$$

- Primero se debe establecer el volumen de acumulación solar (V) según la condición impuesta por el CTE:

$$50 < V / A < 180$$

A= área del captador solar

V= Volumen del depósito de acumulación solar

Los captadores seleccionados son de 2,288m<sup>2</sup>, por tanto el volumen de acumulación debe estar comprendido entre,

$$114,4 < V < 411,84$$

Escogiendo una relación de 80 se tendría un volumen de 183l.

Por tanto queda un valor de  $K_1$  igual a:

$$K_1 = [183 / (75 * 2,288)]^{-0,25} = 0,984$$

$K_2$ , Factor de corrección, para A.C.S., que relaciona la temperatura mínima de A.C.S., la del agua de red y la media mensual ambiente, dado por la siguiente expresión:

$$K_2 = 11,6 + 1,18 t_{ac} + 3,86 t_r - 2,32 t_a / (100 - t_a)$$

Siendo:

$t_{ac}$  = Temperatura mínima del A.C.S.

$t_r$  = Temperatura del agua de red

$t_a$  = Temperatura media mensual del ambiente



Todo ello queda reflejado en la siguiente tabla:

| Mes        | Coficiente global de pérdidas | Factor de corrección por almacenamiento<br>$K_1$ | Factor de corrección para A.C.S.<br>$K_2$ | Energía perdida por el captador $E_p$<br>[MJ] | Carga calorífica de A.C.S.<br>[KJ/mes] | $D_2$         |
|------------|-------------------------------|--|---|---|--|---------------|
| ENERO      | 3,8285                        | 0,984  | 0,975                                     | 705,21  | 63.081,34                              | <b>0,0112</b> |
| FEBRERO    | 3,8285                        | 0,984  | 0,988                                     | 710,49  | 55.921,57                              | <b>0,0127</b> |
| MARZO      | 3,8285                        | 0,984  | 1,029                                     | 793,19  | 59.576,82                              | <b>0,0133</b> |
| ABRIL      | 3,8285                        | 0,984  | 1,089                                     | 837,49  | 55.394,01                              | <b>0,0151</b> |
| MAYO       | 3,8285                        | 0,984  | 1,060                                     | 794,67  | 56.072,30                              | <b>0,0142</b> |
| JUNIO      | 3,8285                        | 0,984  | 1,029                                     | 700,59  | 53.133,03                              | <b>0,0132</b> |
| JULIO      | 3,8285                        | 0,984  | 0,993                                     | 653,21  | 53.735,96                              | <b>0,0122</b> |
| AGOSTO     | 3,8285                        | 0,984  | 0,976                                     | 660,34  | 54.904,13                              | <b>0,0120</b> |
| SEPTIEMBRE | 3,8285                        | 0,984  | 1,013                                     | 670,25  | 54.263,52                              | <b>0,0123</b> |
| OCTUBRE    | 3,8285                        | 0,984  | 1,060                                     | 779,68  | 57.240,48                              | <b>0,0136</b> |
| NOVIEMBRE  | 3,8285                        | 0,984  | 1,029                                     | 682,31  | 57.654,99                              | <b>0,0118</b> |
| DICIEMBRE  | 3,8285                        | 0,984  | 0,960                                     | 644,40  | 63.081,34                              | <b>0,0102</b> |

Tabla 8.11 Resultados de cálculo del parámetro  $D_2$

### C. Determinación de la gráfica f.

Una vez obtenidos los parámetros  $D_1$  y  $D_2$ , aplicando la ecuación inicial se calcula la fracción de la carga calorífica mensual aportada por el sistema de energía solar.

$$f = 1,029D_1 - 0,065D_2 - 0,245D_1^2 + 0,0018D_2^2 + 0,0215D_1^3$$

| Mes        | $D_1$    | $D_2$    | f    |
|------------|----------|----------|------|
| ENERO      | 0,009468 | 0,011179 | 0,01 |
| FEBRERO    | 0,012726 | 0,012705 | 0,01 |
| MARZO      | 0,016868 | 0,013314 | 0,02 |
| ABRIL      | 0,019067 | 0,015119 | 0,02 |
| MAYO       | 0,020129 | 0,014172 | 0,02 |
| JUNIO      | 0,023313 | 0,013186 | 0,02 |
| JULIO      | 0,025868 | 0,012156 | 0,03 |
| AGOSTO     | 0,024679 | 0,012027 | 0,02 |
| SEPTIEMBRE | 0,021999 | 0,012352 | 0,02 |
| OCTUBRE    | 0,016246 | 0,013621 | 0,02 |
| NOVIEMBRE  | 0,011651 | 0,011834 | 0,01 |
| DICIEMBRE  | 0,008356 | 0,010215 | 0,01 |

Tabla 8.12 Fracción de carga calorífica mensual para un solo captador

Obviamente un captador no cumple los límites impuestos por el CTE.

**Probamos con 45 captadores:**

Al modificarlo también cambia el área de captación, se obtiene de nuevo el volumen de acumulación:

(Los captadores seleccionados tienen una superficie de apertura de  $2,288\text{m}^2$  cada uno, para una estimación de 45 captadores solares resulta  $102,96\text{ m}^2$ . Por tanto se debe elegir un volumen de acumulación comprendido entre)

$$5.148 < V < 18.532,8$$

Escogiendo una relación de 80 se requeriría un volumen de  $8.236,8\text{ l}$ , se podría seleccionar dos interacumuladores de  $4.000\text{ l}$  haciendo un total de  $8.000\text{ l}$  de acumulación solar.

$K_1$  = Factor de corrección por almacenamiento nuevo queda:

$$K_1 = [8.000 / (75 * 45 * 2,28)]^{-0,25} = 0,99$$

Rehaciendo los cálculos siguiendo la misma secuencia de cálculo anterior, queda:

| Mes        | $D_1$       | $D_2$       | f    |
|------------|-------------|-------------|------|
| ENERO      | 0,426043624 | 0,698925427 | 0,35 |
| FEBRERO    | 0,572652471 | 0,706051504 | 0,47 |
| MARZO      | 0,759057288 | 0,739877178 | 0,60 |
| ABRIL      | 0,857999581 | 0,795963987 | 0,67 |
| MAYO       | 0,905811912 | 0,746135689 | 0,70 |
| JUNIO      | 1,049106825 | 0,694187038 | 0,79 |
| JULIO      | 1,164072372 | 0,639979749 | 0,86 |
| AGOSTO     | 1,110532682 | 0,633198124 | 0,83 |
| SEPTIEMBRE | 0,989968264 | 0,686417377 | 0,76 |
| OCTUBRE    | 0,731076216 | 0,756964273 | 0,58 |
| NOVIEMBRE  | 0,524292473 | 0,739877178 | 0,43 |
| DICIEMBRE  | 0,376039133 | 0,681231113 | 0,31 |

Tabla 8.13 Fracción de carga calorífica mensual para 45 captadores

Una vez calculada las fracciones solares mensuales, habrá que obtener la fracción solar anual, para ver si ésta cumple con las exigencias impuestas por normativa.

De esta forma, la energía útil captada cada mes,  $Q_u$ , tiene el valor:

$$Q_u = f Q_a$$

Siendo  $Q_a$  la Carga calorífica mensual de A.C.S.

La relación entre la suma de las coberturas mensuales y la suma de las cargas caloríficas, o necesidades mensuales de calor, determinará la cobertura anual del sistema:

$$\text{Cobertura solar anual} = \sum_{u=1}^{u=12} Q_u \text{ necesaria} / \sum_{a=1}^{a=12} Q_a \text{ necesaria} = 0,603$$

Por tanto, en la instalación diseñada para 45 captadores solares, se dispondrá de una fracción solar anual de: **f = 60,3%**. Cumpliéndose así la normativa

| Carga calorífica mensual calentamiento de A.C.S. [MJ] | f    | Energía útil captada cada mes (Qu) [MJ] | COBERTURA SOLAR MENSUAL |
|---|------|---|-------------------------|
| 63.081,34   | 0,35 | 22.144,07                               | 35,10%                  |
| 55.921,57   | 0,47 | 26.168,94                               | 46,80%                  |
| 59.576,82   | 0,60 | 35.877,46                               | 60,22%                  |
| 55.394,01   | 0,67 | 36.864,95                               | 66,55%                  |
| 56.072,30   | 0,70 | 39.224,90                               | 69,95%                  |
| 53.133,03   | 0,79 | 41.998,92                               | 79,04%                  |
| 53.735,96   | 0,86 | 46.153,39                               | 85,89%                  |
| 54.904,13   | 0,83 | 45.548,14                               | 82,96%                  |
| 54.263,52   | 0,76 | 41.004,70                               | 75,57%                  |
| 57.240,48   | 0,58 | 33.288,85                               | 58,16%                  |
| 57.654,99   | 0,43 | 24.684,56                               | 42,81%                  |
| 63.081,34   | 0,31 | 19.555,12                               | 31,00%                  |

Tabla 8.14 Fracciones solares mensuales para la contribución solar para el ACS

#### D. Resultados para la cobertura solar anual del A.C.S

Los resultados obtenidos siguiendo el método f-Chart son los siguientes:

| RESULTADOS MÉTODO F-CHART                        |                |
|--|----------------|
| Número de Captadores                             | 45             |
| Modelo de captador                               | KAPLAN S 2.6 V |
| Área captadores [m <sup>2</sup> ]:               | 114,75         |
| Volumen Acumulación [l]:                         | 8.000          |
| Acumulación/ área captacion [l/m <sup>2</sup> ]: | 52,28          |
| Contribución solar anual [%]:                    | 60,3           |
| Algún mes con CS > 110%                          | NO             |
| Más de tres meses con CS > 100%                  | NO             |
| Pérdidas por sombras y orientación               | 1,69           |

Tabla 8.15 Resultados del método F-Chart para la contribución solar para ACS

La gráfica *f* queda de la siguiente manera:

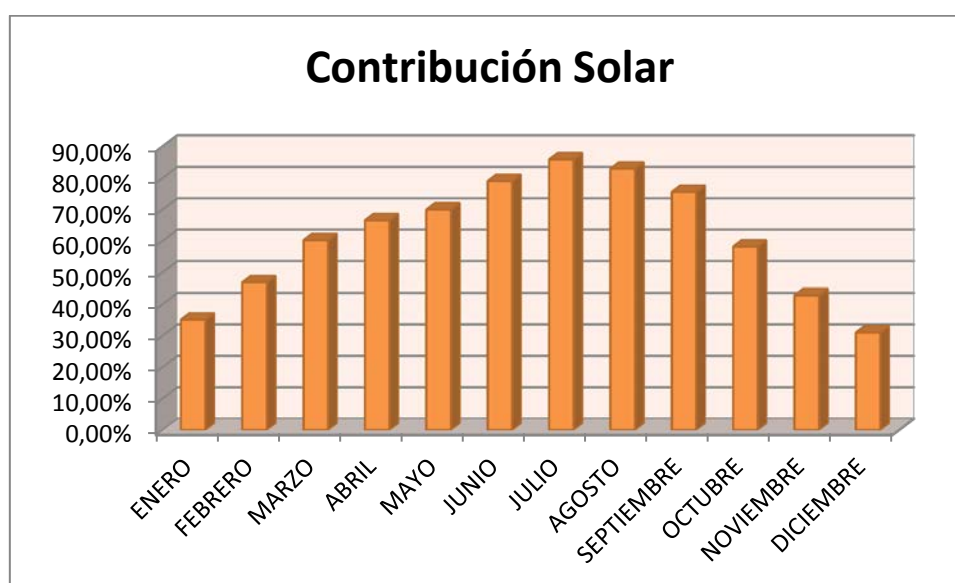


Figura 11 Contribución solar anual para ACS con 45 captadores solares

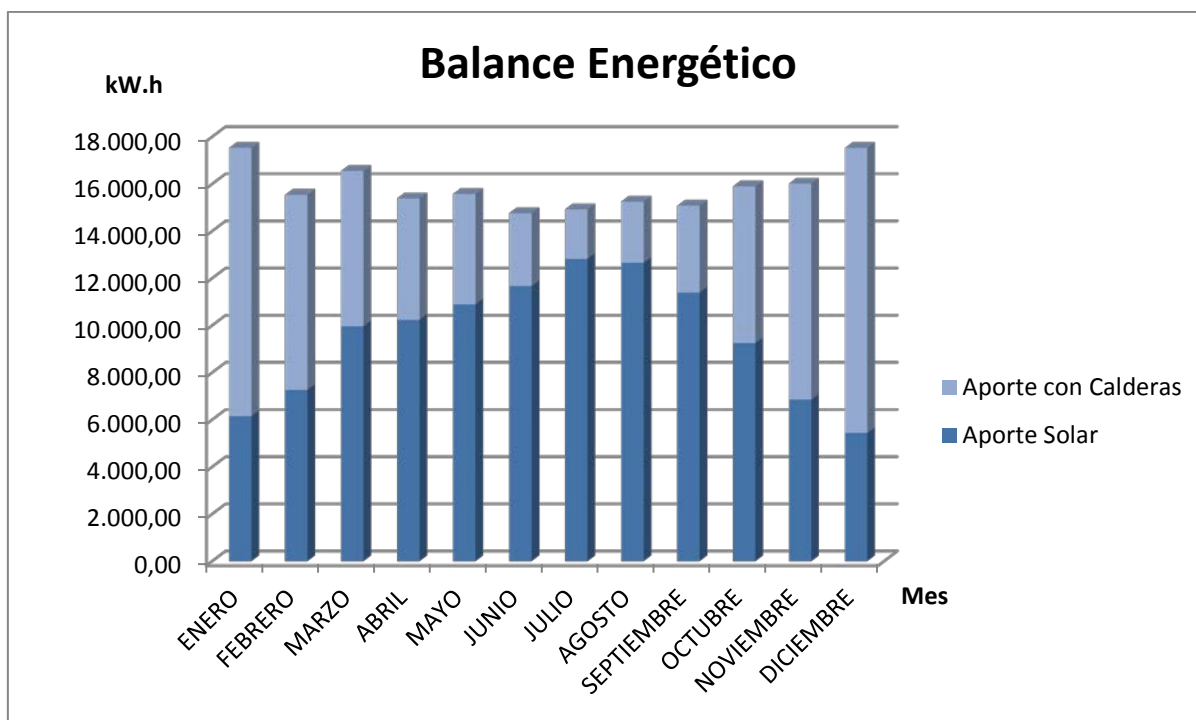


Figura 12 Balance energético de los dos sistemas de aporte energético, Calderas y Solar

## 8.6 DISEÑO DEL SISTEMA SOLAR PARA COBERTURA DE LA CLIMATIZACIÓN DE LAS PISCINAS

El sistema de captación solar también servirá de apoyo energético a las dos piscinas climatizadas.

Las medidas de las piscinas son las siguientes:

- Vaso de entrenamiento: 25 m x 12 m con una profundidad media de 2m.
- Vaso de enseñanza: 12,5 x6 m con una profundidad media de 0,85 m.

Para los cálculos posteriores, las horas de funcionamiento de la piscina se muestran en la siguiente tabla:

**Horas al día de baño**

|         |    |            |    |
|---------|----|------------|----|
| Enero   | 12 | Julio      | 12 |
| Febrero | 12 | Agosto     | 12 |
| Marzo   | 12 | Septiembre | 12 |
| Abril   | 12 | Octubre    | 12 |
| Mayo    | 12 | Noviembre  | 12 |
| Junio   | 12 | Diciembre  | 12 |

Tabla 8.16 Horas de funcionamiento de las piscinas

Por normativa, para instalaciones de climatización de piscinas exclusivamente, no se podrá utilizar ningún volumen de acumulación, aunque sí se podrá utilizar un pequeño almacenamiento de inercia en el primario.

### 8.6.1 Valoración de las cargas caloríficas para la climatización de las piscinas.

Las necesidades de la piscina cubierta son el conjunto de pérdidas de los vasos, que se han calculado en apartados anteriores. En este caso las pérdidas anuales son aproximadamente 2.321.060,18 MJ.

Si se tiene en cuenta la potencia necesaria para la puesta en régimen de los vasos de las piscinas, la energía necesaria aumenta, por lo que esta función la realizará la instalación de apoyo.

En la tabla siguiente se muestran las necesidades mensuales calculadas en el capítulo 3 del presente proyecto:

| Mes               | Pérdidas por renovación [W] | Pérdidas por evaporación [W] | Pérdidas por radiación [W] | Pérdidas por convección [W] | Pérdidas por transmisión [W] | Total de pérdidas mensuales [MJ] |
|-------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| <b>ENERO</b>      | 38.200,25                   | 63.752,79                    | 4.902,11                   | -538,69                     | 5.450,91                     | <b>154.217,95</b>                |
| <b>FEBRERO</b>    | 36.390,17                   | 63.752,79                    | 4.902,11                   | -538,69                     | 5.450,91                     | <b>139.687,14</b>                |
| <b>MARZO</b>      | 32.770,00                   | 63.752,79                    | 4.902,11                   | -538,69                     | 5.450,91                     | <b>149.805,49</b>                |
| <b>ABRIL</b>      | 29.149,83                   | 63.752,79                    | 4.902,11                   | -538,69                     | 5.450,91                     | <b>140.281,32</b>                |
| <b>MAYO</b>       | 27.339,75                   | 63.752,79                    | 4.902,11                   | -538,69                     | 5.450,91                     | <b>142.533,30</b>                |
| <b>JUNIO</b>      | 25.529,67                   | 63.752,79                    | 4.902,11                   | -538,69                     | 5.450,91                     | <b>135.589,58</b>                |
| <b>JULIO</b>      | 23.719,58                   | 63.752,79                    | 4.902,11                   | -538,69                     | 5.450,91                     | <b>137.685,17</b>                |
| <b>AGOSTO</b>     | 25.529,67                   | 27.859,86                    | 4.902,11                   | -538,69                     | 5.450,91                     | <b>140.109,24</b>                |
| <b>SEPTIEMBRE</b> | 27.339,75                   | 27.859,86                    | 4.902,11                   | -538,69                     | 5.450,91                     | <b>137.935,45</b>                |
| <b>OCTUBRE</b>    | 29.149,83                   | 63.752,79                    | 4.902,11                   | -538,69                     | 5.450,91                     | <b>144.957,36</b>                |
| <b>NOVIEMBRE</b>  | 32.770,00                   | 63.752,79                    | 4.902,11                   | -538,69                     | 5.450,91                     | <b>144.973,06</b>                |
| <b>DICIEMBRE</b>  | 38.200,25                   | 63.752,79                    | 4.902,11                   | -538,69                     | 5.450,91                     | <b>157.077,68</b>                |

Tabla 8.17 Necesidades energéticas mensuales para el mantenimiento de las piscinas

Los meses de agosto y septiembre la piscina está cerrada al público, por lo que las pérdidas por evaporación son inferiores en relación al resto del año.

### 8.6.2 Valoración de la radiación solar incidente en la superficie inclinada del captador o captadores.

Para los datos de radiación incidente y de los coeficientes correctores para la inclinación se toman los datos del pliego de condiciones técnicas de instalaciones solares térmicas de baja temperatura del IDAE y el Atlas de Radiación solar 2012.

En el caso del factor de corrección empleamos la tabla “Factor de corrección k para superficies inclinadas” del Anexo X, Tablas de temperaturas y radiación, de la publicación del IDAE [5], para una latitud de 40° y escogemos los valores para una inclinación de 45°.

Al igual que para el cálculo de la cobertura solar para la producción de ACS, se llevarán a cabo los cálculos para un solo captador, y en función de las necesidades se obtendrá el número total de captadores. Hay que tener en cuenta que para la climatización de las piscinas no habrá acumulación ya que el calentamiento será directo a través de los intercambiadores, por ello el cálculo de  $D_2$  difiere respecto a los cálculos para el ACS. Por tanto se omitirán los factores adimensionales K1, factor de corrección por almacenamiento, y K2, factor de corrección para A.C.S. que relaciona la temperatura mínima de A.C.S., la del agua de red y la media mensual ambiente. El resto de cálculos se harán de la misma manera.

Datos de cálculo:

| Mes        | Nº días | IRRADIANCIA GLOBAL<br>[MJ/m <sup>2</sup> .día] | Factor de corrección | Ener. Irrad. Plano incl.<br>[MJ/m <sup>2</sup> .día] |
|------------|---------|--|----------------------|--|
| ENERO      | 31      | 8,172  | 1,4                  | 11,4408  |
| FEBRERO    | 28      | 11,7   | 1,29                 | 15,0930  |
| MARZO      | 31      | 16,74  | 1,15                 | 19,2510  |
| ABRIL      | 30      | 20,7   | 1,01                 | 20,9070  |
| MAYO       | 31      | 23,76  | 0,91                 | 21,6216  |
| JUNIO      | 30      | 27,864   | 0,88                 | 24,5203  |
| JULIO      | 31      | 28,944   | 0,92                 | 26,6285  |
| AGOSTO     | 31      | 25,2   | 1,03                 | 25,9560  |
| SEPTIEMBRE | 30      | 19,692   | 1,2                  | 23,6304  |
| OCTUBRE    | 31      | 12,816   | 1,39                 | 17,8142  |
| NOVIEMBRE  | 30      | 8,748  | 1,52                 | 13,2970  |
| DICIEMBRE  | 31      | 6,732  | 1,5                  | 10,0980  |

Tabla 8.18 Radiación Solar incidente mensual para un solo captador

### 8.6.3 Método F-Chart

De nuevo se emplea el método de cálculo F-Chart, con ello se obtendrá la contribución solar a la aportación de calor total necesario para cubrir las cargas térmicas, y del rendimiento medio en un largo periodo de tiempo. Se ha seguido el procedimiento descrito anteriormente, por lo que aquí sólo se incluyen los resultados finales de la instalación de aporte solar para las piscinas.

#### A. Determinación de la gráfica f.

El número necesario de paneles a instalar es de 105 para cubrir como mínimo el 60% de la demanda energética.

Realizando los cálculos para 105 paneles se obtiene:

| Mes        | D <sub>1</sub> | D <sub>2</sub> | f       |
|------------|----------------|----------------|---------|
| ENERO      | 0,41896        | 0,51186        | 0,35689 |
| FEBRERO    | 0,56180        | 0,57287        | 0,46793 |
| MARZO      | 0,74097        | 0,57305        | 0,60003 |
| ABRIL      | 0,83307        | 0,61214        | 0,66051 |
| MAYO       | 0,87699        | 0,58731        | 0,69094 |
| JUNIO      | 1,01274        | 0,56157        | 0,77722 |
| JULIO      | 1,12027        | 0,53487        | 0,84126 |
| AGOSTO     | 1,68083        | 0,84617        | 1,08579 |
| SEPTIEMBRE | 1,48763        | 0,83198        | 1,00652 |
| OCTUBRE    | 0,70983        | 0,56659        | 0,57841 |
| NOVIEMBRE  | 0,51180        | 0,50938        | 0,43270 |
| DICIEMBRE  | 0,36979        | 0,47476        | 0,31764 |

Tabla 8.19 Fracción de carga calorífica mensual para 105 captadores

De esta forma, la energía útil captada cada mes,  $Q_u$ , tiene el valor:

$$Q_u = f Q_a$$

Siendo  $Q_a$ , la carga calorífica mensual.



| Mes        | Carga calorífica mensual [MJ] | f         | Energía útil captada cada mes (Qu) [MJ] | COBERTURA SOLAR MENSUAL |
|------------|-------------------------------|-----------|---|-------------------------|
| ENERO      | 149.678,87                    | 0,3568864 | 53.418,36                               | 35,69%                  |
| FEBRERO    | 133.004,34                    | 0,4679319 | 62.236,97                               | 46,79%                  |
| MARZO      | 142.406,68                    | 0,6000307 | 85.448,37                               | 60,00%                  |
| ABRIL      | 133.121,18                    | 0,6605111 | 87.928,01                               | 66,05%                  |
| MAYO       | 135.134,49                    | 0,6909413 | 93.370,00                               | 69,09%                  |
| JUNIO      | 128.429,44                    | 0,7772230 | 99.818,32                               | 77,72%                  |
| JULIO      | 130.286,36                    | 0,8412578 | 109.604,42                              | 84,13%                  |
| AGOSTO     | 84.642,61                     | 1,0857869 | 91.903,84                               | 108,58%                 |
| SEPTIEMBRE | 84.258,07                     | 1,0065247 | 84.807,83                               | 100,65%                 |
| OCTUBRE    | 137.558,55                    | 0,5784098 | 79.565,21                               | 57,84%                  |
| NOVIEMBRE  | 137.812,91                    | 0,4327040 | 59.632,19                               | 43,27%                  |
| DICIEMBRE  | 149.678,87                    | 0,3176412 | 47.544,18                               | 31,76%                  |

Tabla 8.20 Fracciones solares mensuales para la contribución solar para el calentamiento de las piscinas

Por tanto, la instalación diseñada para 105 captadores solares, dispondrá de una fracción solar anual de:  $f = 61,79\%$ , cumpliendo así la normativa.

## B. Resultados para la cobertura solar anual para la climatización de las piscinas

Los resultados obtenidos siguiendo el método F-Chart son los siguientes:

| RESULTADOS MÉTODO F-CHART          |                |
|------------------------------------|----------------|
| Número de Captadores               | 105            |
| Modelo de captador                 | KAPLAN S 2.6 V |
| Área captadores [m <sup>2</sup> ]: | 267,75         |
| Contribución solar anual [%]:      | 61,8 %         |
| Algún mes con CS > 110%            | NO             |
| Más de tres meses con CS > 100%    | NO             |
| Pérdidas por sombras y orientación | 1,69%          |

Tabla 8.21 Resultados del método F-Chart para la contribución solar de las piscinas

La gráfica *f* queda de la siguiente manera:

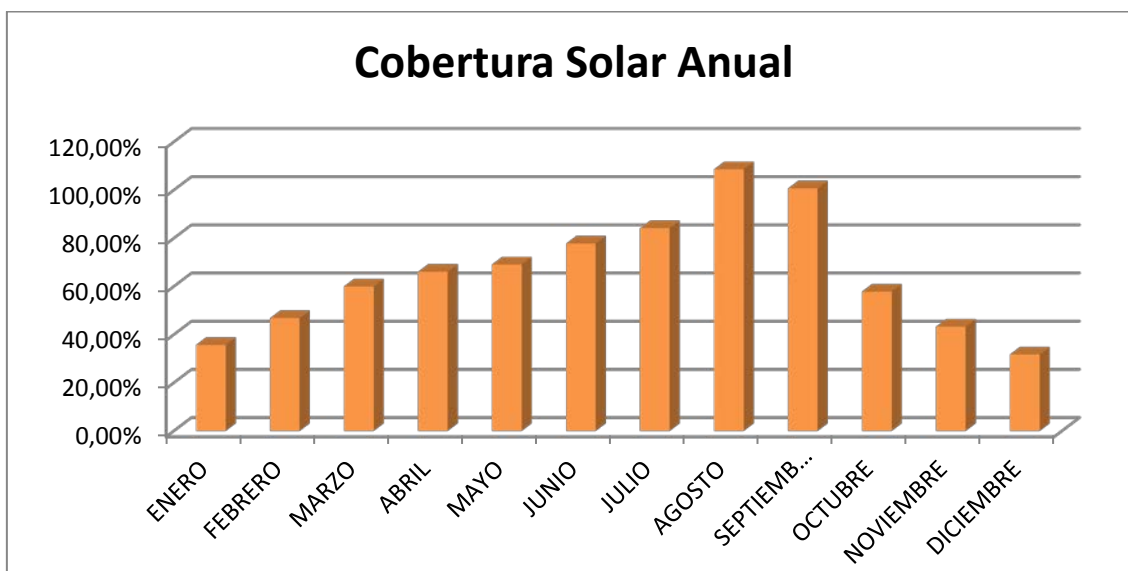


Figura 13 Contribución solar anual para las piscinas con 105 captadores solares

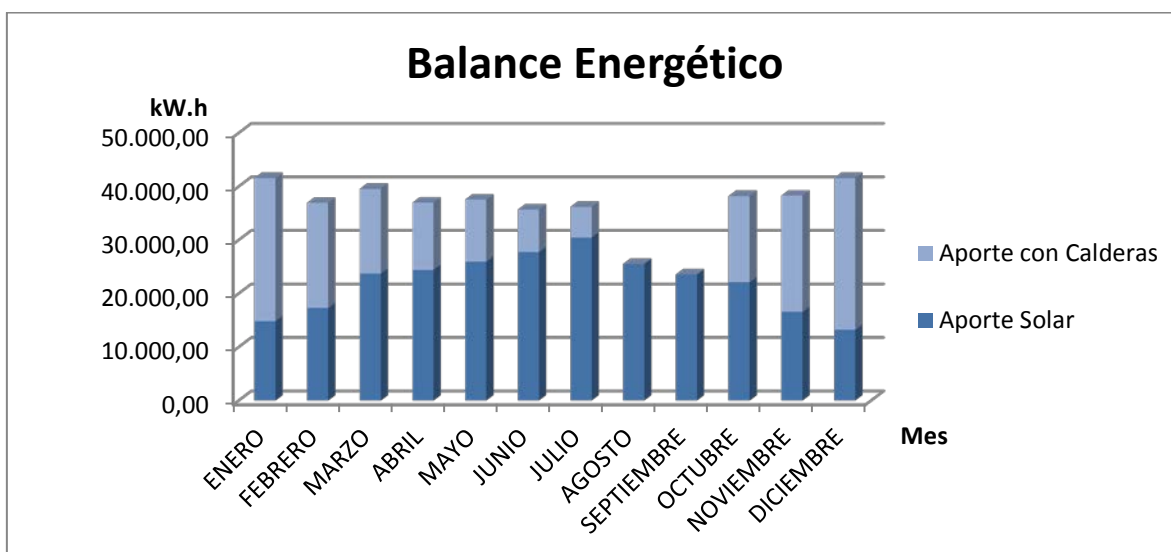


Figura 14 Balance energético de los dos sistemas de aporte energético, Calderas y Solar

Como puede observarse, en los meses de agosto y septiembre la demanda energética se cubre en su totalidad con el aporte solar de los captadores, la demanda es inferior al resto de meses ya que durante esos meses las piscinas permanecen cerradas al público y por ello las pérdidas decrecen. La energía solar captada durante los meses de agosto y septiembre será empleada tanto para su puesta a régimen como para el mantenimiento de las consignas de temperatura para su posterior apertura.

## 8.7 Descripción general del esquema de la instalación solar

En este proyecto la instalación solar finalmente estará compuesta por los siguientes elementos:

- Un sistema de captación solar formado por 150 colectores solares de 2,28 m<sup>2</sup> de superficie útil ubicado en la cubierta del edificio, que transforma la radiación solar incidente en energía térmica calentando el fluido de trabajo.
- Un sistema de intercambio y acumulación constituido por dos depósitos con serpentín de 4.000 litros que realiza la transferencia de la energía térmica captada al agua caliente que se consume y la almacena manteniendo el calor.
- Un sistema de intercambio que realiza la transferencia de la energía térmica captada al agua de renovación de las piscinas.
- Un circuito hidráulico constituido por tuberías, bombas, válvulas, etc., que se encarga de conducir el movimiento del fluido caliente del circuito primario hasta el sistema de acumulación, y desde éste a la red de consumo o abastecimiento.
- Un sistema de regulación y control que se encarga, por un lado, de asegurar el correcto funcionamiento del equipo, para proporcionar un adecuado servicio de agua caliente o agua de renovación de piscina, y aprovechar así la máxima energía solar térmica posible, y por otro de actuar como protector contra sobrecalentamientos del sistema, riesgos de congelaciones, etc.
- El sistema de energía convencional auxiliar se utilizará para complementar la contribución solar, garantizando la continuidad de agua caliente en momentos de escasa radiación solar o demanda superior a lo previsto.
- Un sistema Drain-Back permitiendo el drenaje automático de la instalación solar en caso de ser necesaria la protección frente a sobretemperaturas o heladas.

### Descripción del sistema Drain-Back

El sistema Drain-Back consta de captadores, depósito solar, grupo hidráulico con centralita solar y soportes. Este sistema de drenaje automático presenta una interesante novedad: la convivencia de aire y líquido solar en el circuito primario de la instalación. La combinación de líquido solar y aire, correctamente gestionada, ofrece interesantes ventajas frente a los sistemas convencionales.

Cuando la bomba está parada el líquido solar permanece en la parte inferior del circuito mientras que el aire ocupa los captadores. De esta manera no le afectan ni las heladas ni las altas temperaturas. En caso de que la temperatura del depósito es inferior a las necesidades del usuario la bomba de circulación se pone en marcha automáticamente.

El líquido solar empuja al aire hacia el serpentín del depósito, que ha sido sobredimensionado para acoger todo el volumen de aire, además del líquido caloportador que está en circulación, transmitiendo el calor al depósito.

Ventajas de los sistemas Drain Back:

- Elimina el riesgo de rotura de los captadores por temperaturas extremas (sobretensión y congelación).
- Menor mantenimiento y mayor fiabilidad respecto a sistema forzado.
- Sistema ideal para instalaciones con consumo irregular a lo largo del año, con paro de la instalación en momentos de máxima radiación (ej: colegios, centros deportivos,...).
- Ahorro en elementos de instalación respecto a sistema forzado (purgadores, aerotermo,...).
- Ahorro energético asociado por la no necesidad de aerotermo eléctrico.

En la siguiente imagen se muestra el esquema de la instalación solar y sus componentes, colectores solares, sistema de bombeo, sistema Drain-Back, interacumuladores solares...etc.

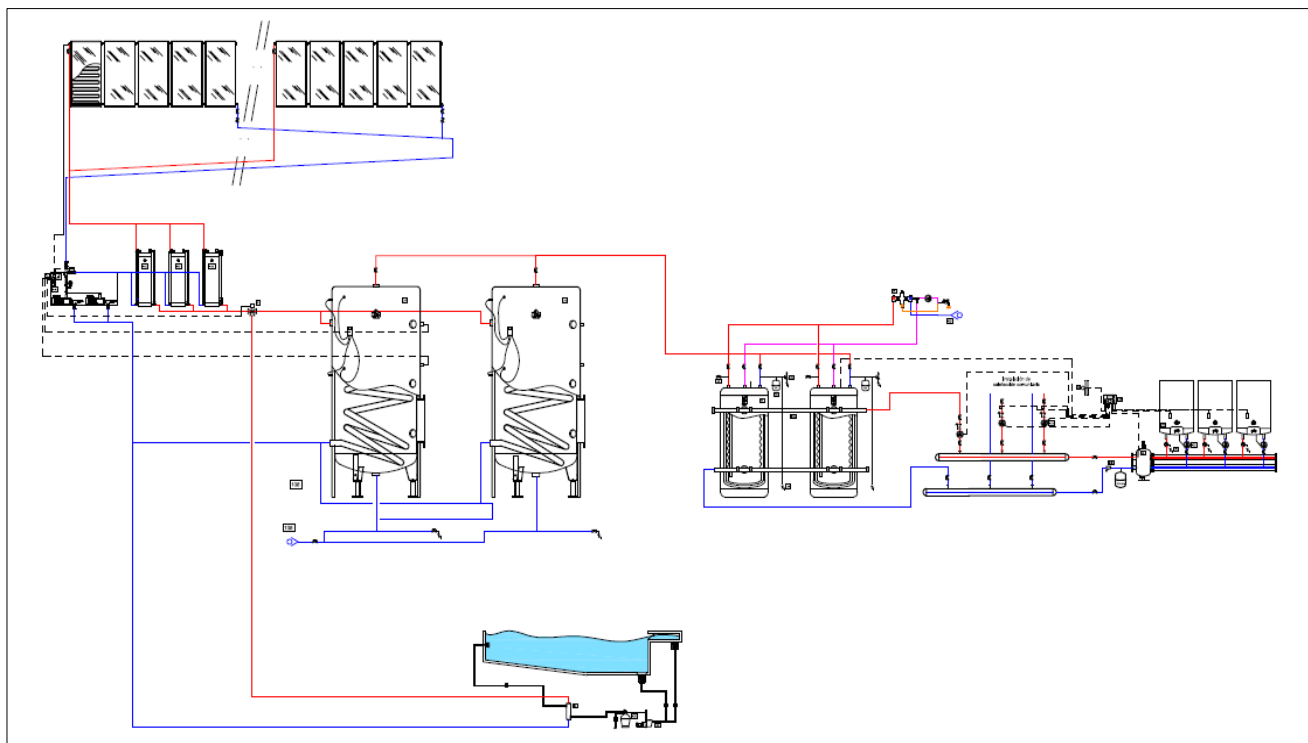


Figura 15 Esquema ilustrativo de la instalación solar

## Criterios generales de diseño

Por normativa, los captadores se dispondrán en filas constituidas, preferentemente, por el mismo número de elementos. Las filas se podrán conectar entre sí en paralelo, serie o serie-paralelo.

Dentro de cada fila los captadores se podrán conectar en serie o paralelo. Para la conexión en paralelo se tendrá en cuenta las limitaciones del fabricante. En el caso de que la aplicación sea exclusivamente de ACS, por estar ubicado en la zona climática IV, se podrán conectar en serie hasta  $6\text{m}^2$ , no siendo este el caso que concierne a este proyecto.

Como se puede ver en las características de los captadores solares, el fabricante permite hasta 12 captadores conectados en paralelo.

Se instalará una válvula de seguridad por fila con el fin de proteger la instalación.

Se dispondrá de un sistema para asegurar igual recorrido hidráulico en todas las baterías de captadores. Se debe alcanzar un flujo equilibrado mediante el sistema de retorno invertido, si no es posible, se emplearán válvulas de equilibrado.

La entrada tendrá una pendiente ascendente en el sentido del avance del fluido del 1%.

### Distancia mínima entre filas de captadores

La separación entre filas de colectores debe ser igual o mayor que el valor obtenido mediante la expresión:

$$d = k \cdot h$$

Siendo:

**d:** Separación entre filas.

**h:** Altura del obstáculo. Se refiere a la sombra que pueden generar los captadores a los que se sitúen detrás. La altura de los captadores es de 2,03m pero al estar inclinados un ángulo de  $45^\circ$ , queda una altura de 1,43m.

**k:** Coeficiente adimensional cuyo valor se obtiene en la tabla siguiente en función de la latitud del lugar.

#### *Coeficiente de separación entre filas de colectores:*

| LATITUD ( $^\circ$ ) | 29    | 37    | 39     | 41    | 43    | 45    |
|----------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| COEFICIENTE K        | 1,600 | 2,246 | 2,4715 | 2,747 | 3,078 | 3,487 |

Tabla 8.22 Coeficiente de separación entre filas de colectores, Fuente IDAE.

La latitud es de 40,4°, interpolando queda un valor de k de 2,664.

La separación mínima entre las filas de colectores será de 3,80m.

### Diseño del circuito hidráulico

Debe estar equilibrado.

- Tuberías: la longitud de tuberías del sistema deberá ser tan corta como sea posible, evitando al máximo los codos y pérdidas de carga en general.
- Bombas: las bombas en línea se montarán en las zonas más frías del circuito, teniendo en cuenta que no se produzca ningún tipo de cavitación y siempre con el eje de rotación en posición horizontal. En instalación con superficie de captación superior a 50m<sup>2</sup> se montarán dos bombas idénticas en paralelo, dejando una de reserva, tanto en el circuito primario como en el secundario. El diámetro de las tuberías de acoplamiento no podrá ser nunca inferior al diámetro de la boca de aspiración de la bomba. El filtro ha de colocarse siempre entre la bomba y los captadores, y el sentido de la corriente ha de ser bomba-filtro-captadores. La impulsión de agua caliente deberá hacerse por la parte inferior de la piscina, quedando la impulsión de agua filtrada en la superficie.
- Vaso de expansión: se conectarán en la aspiración de la bomba.
- Purga de aire: en los puntos altos de la salida de baterías de captadores y en todos aquellos puntos de la instalación donde se pueda quedar aire acumulado, se colocarán sistemas de purga constituidos por botellines de desaireación y purgador manual o automático.
- Drenaje: los conductos de drenaje de las baterías de captadores se diseñarán de manera que no puedan congelarse.

### Sistema de intercambio

- Para el caso de utilizar un intercambiador independiente, la potencia mínima del intercambiador P, se determinará para las condiciones de trabajo en las horas centrales del día suponiendo una radiación solar de 1.000 W/m<sup>2</sup> y un rendimiento de la conversión de energía solar a calor del 50 %, cumpliéndose la condición:

$$P \geq 500 \cdot A$$

Siendo

P: potencia mínima del intercambiador [W];

A: el área de captadores [m<sup>2</sup>].

- Para el caso de intercambiador incorporado al acumulador, la relación entre la superficie útil de intercambio y la superficie total de captación no será inferior a 0,15.

- Si sólo se usa un intercambiador entre el circuito de captadores y el acumulador, la transferencia de calor del intercambiador de calor por unidad de área de captador no debería ser menor de  $40 \text{ W/m}^2\cdot\text{k}$

Para dimensionar los intercambiadores, el “*Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura*” realizado por el IDAE en 2009 [5], recomienda:

| <i>Aplicación</i>              | <i>Temperatura entrada primario</i> | <i>Temperatura salida secundario</i> | <i>Temperatura entrada secundario</i> |
|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Piscinas                       | 50 °C                               | 28 °C                                | 24 °C                                 |
| Agua caliente sanitaria        | 60 °C                               | 50 °C                                | 45 °C                                 |
| Calefacción a baja temperatura | 60 °C                               | 50 °C                                | 45 °C                                 |
| Refrigeración/Calefacción      | 105 °C                              | 90 °C                                | 75 °C                                 |

Tabla 8.23 Temperaturas de trabajo intercambiadores, IDAE.

La pérdida de carga de diseño en el intercambiador de calor no será superior a 3 m.c.a., tanto en el circuito primario como en el secundario.

#### **Caudal del circuito primario**

La pérdida de carga del captador para un caudal de 1 l/min por  $\text{m}^2$  será inferior a 1 m c.a.

#### **Dimensionado de la bomba de circulación**

Siempre que sea posible se utilizarán bombas tipo circuladores en línea.

Los materiales de la bomba del circuito primario serán compatibles con las mezclas anticongelantes y en general con el fluido de trabajo.

Cuando las conexiones son el paralelo, el caudal nominal será el igual al caudal unitario de diseño multiplicado por la superficie total de captadores conectados en paralelo.

La potencia eléctrica parásita para la bomba no debería exceder el 1% de la mayor potencia calorífica que pueda suministrar el grupo de captadores.

La velocidad del flujo está comprendida entre 0,5 y 2,5 m/s

La bomba de circulación será de un 1% de la potencia térmica del intercambiador (suma de los intercambiadores de las piscinas), por tanto, de 1,85kW.

#### **Sistema de control**

El control de las bombas debe ser de tipo diferencial y debe actuar en función de la diferencia entre la temperatura del fluido portador en la salida de la batería de colectores y la del

depósito de acumulación. El sistema de control actuará y estará ajustado de manera que las bombas no estén en marcha cuando la diferencia de temperaturas sea menor que 2°C y no están paradas cuando la diferencia sea mayor que 7°C. La diferencia de temperaturas entre los puntos de arranque y de parada de termostato diferencial no será menor que 2°C.

### Cálculo de tuberías

Se recomienda utilizar tuberías de conexión metálicas debido a las altas temperaturas y presiones que se alcanzan en el circuito. Los materiales utilizados para el aislamiento de estas tuberías deben superar correctamente cualquier tipo de incidencia climatológica, ya que, en muchos casos se encuentran situadas en tramos exteriores.

Las pérdidas de calor en tuberías y conductos de ida y retorno a los colectores pueden ser significativas. Es necesario un adecuado aislamiento. La longitud de las tuberías necesaria se suele estimar para cálculos iniciales en base al área de captación. Es posible incluir el efecto de las pérdidas en las tuberías utilizando una ecuación modificada para el colector.

Con objeto de evitar pérdidas térmicas, la longitud de las tuberías del sistema deberá ser tan corta como sea posible y evitar al máximo los codos y pérdidas de carga en general.

Se seleccionarán tuberías de cobre para el circuito primario y de polietileno para el secundario. Lo único que va a diferenciar ambos circuitos es que a través del circuito primario fluye propilenglicol cuya densidad es ligeramente superior a la del agua, mientras que por el circuito secundario fluye agua.

El diámetro de las tuberías se seleccionará de forma que la velocidad de circulación el fluido sea inferior a 2 m/s cuando la tubería discorra por locales habitados y a 3 m/s cuando el trazado sea al exterior o por locales no habitados. (Pliego de condiciones técnicas solar a baja temperatura)

Por tanto, para el cálculo del diámetro necesario en las tuberías se recurre a la siguiente expresión:

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{v * \pi}}$$

Donde,

D = Diámetro de la tubería

Q = Caudal (m<sup>3</sup>/h)

v = Velocidad del fluido.

El caudal que circula por la instalación es el caudal recomendado por el fabricante, en este caso 50 l/h por colector con una pérdida de carga de 160mbar. Así, para el conjunto de 150 colectores el caudal que circula por la instalación será de 7.500 l/h.



El diámetro de las tuberías que circulen entre los captadores por la cubierta, con una velocidad del fluido de 1,5 m/s será de 42mm, 2".

Las pérdidas térmicas globales del conjunto de conducciones no superarán el 4% de la potencia máxima que transporten. Para ello se debe analizar las siguientes pérdidas:

#### -Pérdidas por accesorios

Como accesorios se entienden derivaciones y codos, para ello se calculará mediante:

$$h_{ac} = k * \left( \frac{V^2}{2 * g} \right)$$

Siendo:

$h_{ac}$ : Pérdida de carga por accesorio (m.c.a.).

K: constante de singularidad. Coeficiente de seguridad en función de cada accesorio.

V: velocidad del fluido (m/s)

g: Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

El coeficiente K se define según sea el accesorio como:

#### ACCESORIO K:

|                      |     |
|----------------------|-----|
| T cerrada            | 0,4 |
| T abierta            | 1   |
| Codo 90°             | 1   |
| Reducción de sección | 0,5 |
| Válvula abierta      | 0,2 |
| Válvula de seguridad | 2,5 |
| Válvula de retención | 2   |

Tabla 8.24 Coeficiente de seguridad en función del accesorio

#### -Pérdidas por tramos rectos

En este caso se emplea esta ecuación:

$$h_c = f * \left( \frac{L * V^2}{D * 2g} \right)$$

Siendo:

$f$ : Coeficiente de fricción de Darcy. Se puede calcular con la ecuación de Baisius (para tuberías lisas):  $f = 0,316 * Re^{-0,25}$

$h_c$ : Pérdida de carga, en m.

Para determinar el coeficiente de fricción de Darcy se emplea el diagrama de Moody. Para conocerlo es preciso el número de Reynolds y la rugosidad relativa, donde las tuberías de polietileno utilizadas tienen una rugosidad absoluta de 0,007 mm, mientras que las de cobre la tienen de 0,0015 mm.

El factor de fricción representa la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas en la tubería. Para estos equipos el régimen siempre será de Re bajos, el fluido va de forma laminar. Cuando las fuerzas de inercia predominan (Re elevados), el fluido se mueve en régimen turbulento.

Cuando el régimen es laminar, la rugosidad importa menos pero la influencia de la rugosidad es mayor. El coeficiente de fricción se calcula con la ecuación de Swamee-Jain:

$$f = \frac{1,325}{\left( \ln \left( \frac{\varepsilon}{3,7 * D} + \frac{5,47}{Re^{0,9}} \right) \right)^2}$$

Siendo:

$\frac{\varepsilon}{D}$  Rugosidad relativa de la pared del tubo.

$Re$  Número de Reynolds  $Re = \frac{\rho V D}{\mu}$

$\rho$  Densidad del fluido

$V$  Velocidad del flujo

$D$  Diámetro interior del tubo

$\mu$  Viscosidad dinámica del fluido

#### -Pérdidas por la maquinaria

Éstas vienen dadas por el fabricante mediante ensayos normalizados.

Todas las pérdidas mencionadas serán calculadas en el capítulo 9 del presente proyecto para el diseño de las bombas necesarias para la instalación solar estudiada.

## Descripción básica del funcionamiento de la instalación solar

La instalación solar está gobernada por una centralita de regulación solar, que lee las temperaturas de la sonda ubicada en la captación solar y la de la parte fría de la acumulación solar. Si existe más temperatura en el campo de captación que en las placas, la centralita pone en marcha la bomba de circulación solar, la cual se encarga de mover el líquido del circuito primario desde el sistema de interacumulación o desde el primario de los intercambiadores de las piscinas hacia las placas solares, logrando arrastrar la energía captada por las mismas hacia la acumulación solar, donde almacenarla.

Cuando el sistema interacumulador de A.C.S. alcance la temperatura de las placas, la centralita desviará la energía solar hacia el sistema de calentamiento de las piscinas mediante una válvula de 3 vías motorizada, es decir, se dará prioridad al A.C.S.

Finalmente en caso de que las piscinas también alcancen su temperatura máxima de funcionamiento, la centralita parará la bomba de circulación del sistema solar y el sistema drenará de manera automática gracias al diseño Drain-Back de la instalación solar, quedando la instalación protegida frente a sobretemperaturas.

Esta situación se revertirá en el momento que se produzca consumo de A.C.S., o las piscinas pierdan temperatura volviendo a la situación de funcionamiento inicial.

En el momento que en el campo de captación solar disminuya la temperatura por debajo que la de la acumulación, la centralita de regulación también detendrá la bomba de circulación solar y la instalación se quedará completamente vacía igual que en el caso anterior, quedando a la espera de disponer de mayor temperatura en las placas, o de que descienda la temperatura de acumulación debido al consumo de A.C.S. o el enfriamiento de las piscinas.

## Conexión con el sistema de apoyo

La conexión con el sistema de apoyo, que aportará la energía necesaria que no se haya logrado a través de la energía solar para cubrir la demanda total de A.C.S. de la instalación, se realizará mediante una conexión en serie entre la instalación solar y el mismo.

En este caso, el A.C.S. de consumo, entra en el sistema de interacumulación solar donde se calienta mediante el serpentín interno de los interacumuladores. Al producirse consumo en la instalación, el agua que estaba acumulada pasa al sistema de acumulación de apoyo, donde mediante un sistema de intercambio tank in tank, el A.C.S se calienta hasta la temperatura necesaria.

Del sistema de acumulación de apoyo, el A.C.S. irá a consumo previo paso por una mezcladora termostática, que regulará la temperatura de suministro del A.C.S. mediante la mezcla con agua de red.

La recirculación de. A.C.S. será regulada mediante una válvula de tres vías que recirculará al depósito de apoyo para el ACS o se conectará a la entrada del agua precalentada de la instalación solar, nunca interfiriendo en el sistema de interacumulación solar.

### Concepción del campo de captadores

Como el rendimiento energético de un captador solar disminuye cuando aumenta la temperatura de entrada, la conexión en serie de dos captadores o de dos filas de captadores hace que el rendimiento de la instalación disminuya.

La disposición más adecuada es la de captadores conectados en paralelo, cuyas filas se conectan también en paralelo. Hay que tener en cuenta que las instalaciones con conexiones de sus captadores en paralelo requieren mayor caudal de fluido y secciones mayores de tuberías, por lo que es una instalación más costosa.

Se detalla a continuación la configuración escogida para el campo para la optimización del funcionamiento de la instalación.

El campo estará compuesto por 15 baterías haciendo un total de 150 captadores repartidos de la siguiente manera:

- 15 Baterías de 10 captadores con un caudal circulante de 500 litros / hora por batería.

Por la tipología interna de los captadores empleados, tipo meandro con colector, todos los captadores de una batería estarán conectados en paralelo.

La conexión de los captadores está realizada para trabajar a un régimen de caudal medio-bajo, que permite trabajar con las siguientes características.

- Salto térmico más elevado en el intercambio.
- Tubos de menor diámetro lo que conlleva además de un coste inferior, una disminución de las pérdidas térmicas por distribución.
- Menor caudal de trabajo, y por lo tanto, menor consumo parásito del equipo de circulación.

Seguidamente, se resume mediante una tabla las características más relevantes del campo de captadores.

| <i>Parámetros</i>                      | <i>Unidades</i> | <i>Valor</i> |
|--|-----------------|--------------|
| Nº de Captadores                       | -               | 150          |
| Superficie total                       | m <sup>2</sup>  | 375          |
| Superficie útil (apertura)             | m <sup>2</sup>  | 343,2        |
| Inclinación respecto a la horizontal   | º               | 45           |
| Azimut (positivo oeste; negativo este) | º               | 10           |
| Conexión del campo                     | -               | Paralelo     |
| Conexión de baterías                   | -               | Paralelo     |
| Caudal por captador                    | l/h             | 50           |

Tabla 8.25 Características del campo de captadores

### Conexiones hidráulicas del campo de captadores

El campo de captadores tal y como se especifica en la tabla anterior se compone por 150 captadores divididos en 15 baterías.

El caudal circulante por cada captador es de 50 litros/h tendiendo por tanto un caudal circulante por batería de 500; haciendo un caudal total del campo de captadores de 7.500kg/h.

Cada batería irá equipada con llaves de paso a la entra y salida, así como de un regulador de caudal con caudalímetro de un caudal máximo de 550 litros /hora. El caudalímetro se colocará en la entrada de cada batería.

Todas las tuberías serán de cobre con conexiones resistentes a temperaturas de hasta 200°C (soldadura dura). Cumpliendo los siguientes parámetros:

- Pérdida de carga máxima admisible: 40mm.c.a./ metro lineal de tubería
- Velocidad máxima: 1,5m/s

Las tuberías expuestas a agentes exteriores, estarán aisladas con un material resistente a altas temperaturas y protegidas contra los rayos ultravioletas mediante la protección adecuada.

La fijación de las tuberías se hará mediante abrazaderas metálicas de tipo isofónicas para evitar puentes térmicos entre las tuberías y el ambiente.

Todas las tuberías se instalarán de acorde a las especificaciones del RITE en el apartado de redes de tuberías y conductos de sus instrucciones técnicas (IT1.3.4.2).

El aislamiento de las tuberías es el prescrito según las indicaciones de la IT 1.2.4.2.1 del RITE, referente a las redes de tuberías y conductos en los edificios. Se escoge un aislamiento que se encuentra entre dentro del grupo de fluidos con temperaturas de entre los 60 y los 10°C. Estas son temperaturas esperadas en régimen normal de funcionamiento.

En caso de estancamiento del sistema (temperaturas superiores a 100°C) tiene prioridad la disipación térmica del calor que el aislamiento del mismo.

No se dejará ningún espacio intersticial entre tubos y aislamiento para evitar la posible circulación de aire entre ambos que pueda provocar un incremento de las pérdidas energéticas.

### Comportamiento hidráulico del campo de captadores

Se debe asegurar el mismo recorrido hidráulico en todas las baterías de captadores. El montaje se equilibrará hidráulicamente en cada una de las baterías que componen el campo de captadores.

El equilibrado entre diferentes baterías se realiza mediante válvulas de equilibrado estático instaladas en la impulsión de cada una de las baterías del campo de captadores.

El desequilibrio máximo permitido entre baterías es de un 15%.

### Suportación del campo de captadores

Se le aplicará a la estructura de soportación las exigencias del Código Técnico de la Edificación en cuanto a seguridad. El sistema de fijación de los captadores permitirá las necesarias dilataciones térmicas, sin transferir cargas que puedan afectar a la integridad de los captadores o del circuito hidráulico.

Los puntos de sujeción de los captadores serán suficientes en número, teniendo el área de soportes y posición relativa adecuada, de manera que no se produzcan flexiones en el captador superiores a las permitidas por el fabricante.

Los anclajes de sujeción de los captadores y la propia estructura no realizarán sombra sobre los captadores. Se deberá prestar especialmente atención a la hora del anclado de los captadores para no dañar la impermeabilización de los colectores.

Para el anclaje sobre la cubierta se opta por un sistema propuesto por el fabricante de los captadores solares basado en un conjunto de bastidor de aluminio con un juego de fijaciones para la cubierta.

## Fluido de trabajo

El caudal del fluido portador se determinará en función de la superficie total de colectores instalados. Su valor está comprendido entre 1,2 l/s y 1,6 l/s por cada 100 m<sup>2</sup> de área de colectores.

Como fluido de trabajo en el circuito primario se utilizará agua de la red, o agua desmineralizada, o agua con aditivos. Los aditivos más usuales son los anticongelantes, que es el que se empleará en la instalación que se ha diseñado.

El circuito primario, se llenará con agua de la red aditivada con anticongelante, Mono Propileno Glycol para conseguir bajar el punto de congelación de la mezcla y elevar la temperatura de ebullición del fluido calo portador.

En el Pliego de Condiciones Técnicas de IDAE [5], se recoge como temperatura mínima histórica de la provincia de Madrid el valor de -16°C. Como anticongelante solo podrán utilizarse los productos, solo o mezclados cuyo punto de congelación sea inferior a 0°C. En todo caso, su calor específico no será inferior a 3kJ/kg·K, equivalentes a 0,7 kcal/kg·°C medido a una temperatura 5°C menor que la mínima histórica registrada. La proporción de diseño de anticongelante será del 40%, cantidad que corresponde según la tabla de abajo a una protección de hasta -22°C; lo que significa 6°C de margen de seguridad, superando lo obligado por el CTE, 5°C de margen.

| <i>Porcentaje de anticongelante</i> | <i>Temperatura de congelación</i> | <i>Densidad de la mezcla</i> |
|-------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| <b>%</b>                            | <b>°C</b>                         | <b>Kg / litro</b>            |
| <b>20</b>                           | -10                               | 1,035                        |
| <b>30</b>                           | -15                               | 1,029                        |
| <b>40</b>                           | -22                               | 1,021                        |
| <b>50</b>                           | -34                               | 1,013                        |

Tabla 8.26 Características de la mezcla con anticongelante

No es conveniente aumentar en exceso el porcentaje de anticongelante en la mezcla, ya que de hacerlo innecesariamente, se estaría reduciendo la capacidad caloportadora del fluido empleado en el circuito primario, perjudicando el rendimiento global de la instalación. Hay que asegurar que el fluido de trabajo está en movimiento cuando exista riesgo de helarse.

El fluido de trabajo se ajusta a los valores de PH, salinidad y contenido de sales de calcio y dióxido de carbono marcados por el C.T.E. en el apartado HE-4.

El diseño de los circuitos evitará cualquier tipo de mezcla de los distintos fluidos que pueden operar en la instalación. Se prestará una especial atención a una eventual contaminación del agua potable por el fluido del circuito primario.

El valor es de aprox. 1,5l/s por cada 100 m<sup>2</sup> de área de colectores. Por tanto el caudal total será de 5,62 l/s (150 captadores con superficie total de 2,55m<sup>2</sup>), circulando 0,56 l/s aproximadamente por cada fila.

### Grupo de bombeo solar

En el circuito primario se deberá de instalar un grupo de bombeo solar, el cual gobernado por la centralita de regulación, moverá el fluido caloportador a través de las tuberías del circuito primario transportando la energía desde el campo de captadores hasta el sistema de interacumulación solar.

De ser posible, siempre se instalará en las zonas más frías del circuito teniendo en cuenta que no se produzca ningún tipo de cavitación, y con el eje de rotación en posición horizontal.

La bomba será capaz al menos de generar una caudal de diseño de 7.500 litros/ hora y una presión disponible capaz de superar la pérdida de carga entre el equipo de bombeo y el campo de captación solar así como la altura manométrica entre el equipo de bombeo y la instalación solar. Concretamente el equipo de bombeo generará una presión disponible de 25 m.c.a, la cual será suficiente para el funcionamiento correcto de la instalación con el caudal de diseño.

Se colocará en el circuito primario una válvula de regulación de caudal para en caso de ser necesario ajustar la pérdida de carga del circuito primario y así lograr el caudal de diseño de la instalación.

Las bombas empleadas son de tipo centrífugo, dimensionadas para poder vencer la resistencia que opone el fluido a su paso por la tubería y mantienen la presión deseada en cualquier punto de la instalación.

Es importante conocer las curvas de funcionamiento de las bombas proporcionadas por el fabricante. Estas curvas son en base al caudal y presión disponible para un mismo rodete.

Para asegurar un correcto dimensionado de las bombas, se han seleccionado la bomba de la curva central ya que es el punto más estable de trabajo y donde el rendimiento es el más alto. Es importante no escoger la bomba de la curva más alejada ya que si por algún motivo se tuviera que aumentar las presiones, no se tenga que cambiar la bomba.

Se han dispuesto de un total de 1 bomba doble para la instalación solar y sus características técnicas quedan detalladas en el Anexo III, Documentación técnica de equipos.

### Sistema de protección frente a sobretemperatura

El sistema de captación dispondrá de un sistema de seguridad contra sobretemperaturas, en este caso y dada la posibilidad de largas temporadas de no consumo, o consumo muy por



debajo al previsto teóricamente, que además coincidirán con los meses de máxima radiación solar, y ausencia de personal de mantenimiento.

Se va a instalar un sistema Drain-back, que gobernado por la centralita solar en el caso de que las placas sigan estando a una temperatura superior a la del sistema de interacumulación solar, y este haya llegado a la temperatura máxima de consigna, detendrá la bomba de circulación. Por su especial diseño, la instalación se vaciará por gravedad, quedando todo el líquido de la instalación solar recogido en el vaso de drenaje y en el resto de instalación hasta la impulsión de la bomba; mientras que el campo de captación solar quedará totalmente vacío de líquido y lleno de aire.

Esta situación se mantendrá mientras que el campo de captación tenga una temperatura superior a la del sistema de interacumulación y el mismo no baje de la temperatura máxima consignada.

La instalación tendrá un sistema de llenado para las posibles fugas o pérdidas accidentales del fluido y se deberá rellenar con la misma mezcla que la empleada en el circuito.

### Dispositivos de seguridad del circuito primario

Al tratarse de un equipo con funcionamiento Drain-Back, esto implica que el circuito primario no necesita elementos de seguridad tales como vaso de expansión o válvula de seguridad, ya que el circuito nunca estará a una presión superior a la presión atmosférica, y por lo tanto estos elementos nunca trabajarían.

### Sistema de interacumulación solar

Los acumuladores se dispondrán verticalmente, para favorecer la estratificación. Se conectarán en serie invertida en el circuito de consumo o en paralelo con dos circuitos primarios y secundarios equilibrados.

El sistema de acumulación situado por encima de la batería de captadores favorecen la circulación natural, pero esto no podrá ser posible en la instalación en cuestión.

El sistema de acumulación está compuesto por dos interacumuladores con serpentín de 4.000 litros. Que almacena y calienta el agua caliente sanitaria mediante la energía solar térmica y que al producirse un consumo, pasará al sistema de producción de apoyo de ACS.

El depósito de apoyo está convenientemente aislado con un aislamiento de 100 mm de poliuretano rígido de 0,045 W/m·K de conductividad térmica.

Los interacumuladores estarán debidamente protegidos frente a la corrosión debido a que la cuba interior del mismo incorpora una capa de vitrificado y además se añade una protección electrónica mediante corriente impresa como protección adicional.

**Situación de conexiones:**

- La conexión de entrada de agua caliente procedente del intercambiador o de los captadores de acumulación se realizará, preferentemente a una altura comprendida entre el 50% y el 75% de la altura total del mismo.
- La conexión de salida de agua fría del acumulador hacia el intercambiador o los captadores se realizará por la parte inferior de éste.
- La alimentación de agua de retorno de consumo al depósito de realizará por la parte inferior. La extracción de agua caliente del depósito se realizará por la parte superior.

### Sistema de regulación

El sistema de control asegura el funcionamiento correcto de la instalación, procurando la obtención de un buen aprovechamiento de la energía solar captada y asegurando un uso adecuado de la energía del sistema de apoyo.

El sistema de regulación y control solar engloba el control de funcionamiento del circuito solar y el sistema de protección y seguridad contra sobretemperaturas.

La bomba de circulación solar del sistema solar arrancará cuando la temperatura en el campo de colectores sea 5 grados superior a la temperatura del interacumulador solar.

La bomba de circulación del sistema solar parará cuando la temperatura del campo de colectores sea inferior a 2°C a la temperatura de acumulación.

Desde el cuadro de protección y mando se realizará la alimentación eléctrica de los distintos equipos que componen la instalación. Los dispositivos que requieren de esta alimentación eléctrica son las bombas de circulación del circuito primario y secundario, los termostatos y los dispositivos de control. El sistema de control instalado en el depósito de acumulación solar actuará en función de la diferencia de temperaturas del fluido portador a la salida de las baterías de los colectores y la del depósito de acumulación. El sistema se ajustará de modo que las bombas pararán cuando la diferencia de temperatura entre el campo de colectores y la temperatura de acumulación sea menor de 2°C y se pondrán en marcha cuando la diferencia sea mayor que 7°C.

Las sondas de temperatura, colocadas en la parte superior de los colectores para representar la máxima temperatura del circuito de captación, estarán reguladas en una centralita que permitirá regular la temperatura desde la misma.

### Prevención de ruidos y vibraciones

Para evitar ruidos en las tuberías, se dimensiona para que en ningún caso supere los 2 m/s de velocidad en ninguno de los tramos.

No se prevé ningún tipo de transmisión de ruido o vibración a los habitáculos colindantes a la instalación.

### Protección del medio ambiente

La instalación no requiere medidas especiales para la protección del medio ambiente, siempre y cuando que el mantenimiento de la instalación se realice de forma adecuada ajustándose a la normativa vigente.

El fluido mezcla de anticongelante y agua de red, será una mezcla no tóxica formada por agua y Mono Propileno Glycol ajustándose a la normativa sanitaria.

## 9. DISEÑO DE LOS COMPONENTES DEL CIRCUITO HIDRÁULICO DE LA INSTALACIÓN

En función de los aparatos elegidos y diseñados a lo largo del presente proyecto, y de las necesidades térmicas del centro deportivo, solo falta el diseño de todos los componentes hidráulicos que requiere la instalación para su correcto funcionamiento.

Para el cálculo de la instalación hidráulica, diámetro de tubería y selección de bombas, se analiza cada circuito con todos sus elementos y accesorios. Cada accesorio y tramo tendrá asociada una pérdida de carga que habrá que tener en cuenta, puesto que las bombas a introducir deberán superar dichas pérdidas de carga.

### 9.1 Intercambiadores

En el RITE se define la eficiencia de un intercambiador de calor como, la relación entre la potencia térmica recibida por el fluido secundario y la máxima potencia térmica que puede recibir y que depende de las condiciones de los fluidos primarios y secundarios a la entrada del aparato.

De cada intercambiador de calor se deben conocer la potencia, saltos de temperatura y caudales de diseño, debiéndose ajustar los caudales de diseño que lo atraviesan.

La pérdida de carga de diseño en el intercambiador de calor no será superior a 3 m.c.a., tanto en el circuito primario como en el secundario.

La selección de los intercambiadores de calor se hará en función del caudal que se tenga en el circuito primario de los mismos. Se tomará el que tenga el caudal inmediatamente superior al que se tiene en la instalación.

Se colocarán intercambiadores de calor en el circuito primario para el aporte de calor por medio de las calderas del agua caliente sanitaria y de las piscinas, y para el aporte solar en piscinas y depósitos solares de acumulación. Se analizan cada uno de ellos por separado.

### Sistema de intercambio de energía entre el campo de colectores y los interacumuladores solares.

Los depósitos solares serán interacumuladores, los intercambiadores estarán ubicados en el interior, denominados serpentín. Se colocarán obligatoriamente en paralelo ya que de no ser así, el intercambiador del depósito que estuviese más cerca del consumo no aportaría calor. Es recomendable realizar las conexiones con retorno invertido para que la instalación esté totalmente equilibrada, tanto en producción como en consumo.

La recirculación se conectará directamente al depósito de cabeza, pero cuando la temperatura de los interacumuladores solares sea superior a la de recirculación conviene efectuar la recirculación sobre ellos de modo que se podría llegar a calentar todos los depósitos e incluso compensar las pérdidas por recirculación. Esto se hará mediante una válvula de tres vías, ubicada a continuación de la bomba de recirculación.

Se han seleccionado dos interacumuladores solares de 4.000l de la marca LAPESA, las características técnicas se pueden ver en el Anexo III, documentación técnica de los equipos.

## Características técnicas

### SIN BOCA DE REGISTRO

| Denominación | Superficie intercambio |           | Producción ACS (litros/h) (*) | Potencia intercambio (kW) (*) | Máxima pérdida de carga (mm.c.a.) (*) | Peso (Kg) (**) |
|--------------|------------------------|-----------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|----------------|
|              | inf. (m²)              | sup. (m²) |                               |                               |                                       |                |
| MILOX/IN 80  | 0,76                   | -         | 500                           | 26,4                          | 20                                    | 22             |
| MILOX/IN 100 | 0,76                   | -         | 650                           | 26,4                          | 20                                    | 27             |
| MILOX/IN 150 | 0,87                   | -         | 850                           | 34,6                          | 48                                    | 34             |
| MILOX/IN 200 | 1,04                   | -         | 900                           | 36                            | 53                                    | 40             |
| MILOX/IN 300 | 1,24                   | -         | 1250                          | 50                            | 90                                    | 54             |
| MILOX/IN 500 | 1,74                   | -         | 1650                          | 66                            | 170                                   | 96             |
| MILOX/IN 750 | 2,21                   | -         | 1862                          | 74,4                          | 340                                   | 133            |

### CON BOCA DE REGISTRO

| Denominación  | Superficie intercambio |           | Producción ACS (litros/h) (*) | Potencia intercambio (kW) (*) | Máxima pérdida de carga (mm.c.a.) (*) | Peso (Kg) (**) |
|---------------|------------------------|-----------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|----------------|
|               | inf. (m²)              | sup. (m²) |                               |                               |                                       |                |
| MILOX/IN 300  | 1,24                   | -         | 1250                          | 50                            | 90                                    | 54             |
| MILOX/IN 500  | 1,74                   | -         | 1650                          | 66                            | 170                                   | 96             |
| MILOX/IN 750  | 2,21                   | -         | 1862                          | 74,4                          | 340                                   | 133            |
| MILOX/IN 1000 | 2,58                   | -         | 2000                          | 80                            | 430                                   | 153            |
| MILOX/IN 1500 | 3,59                   | -         | 2800                          | 113                           | 520                                   | 227            |
| MILOX/IN 2000 | 4,35                   | -         | 3200                          | 128                           | 610                                   | 280            |
| MILOX/IN 2500 | 5,08                   | -         | 3600                          | 146                           | 1600                                  | 346            |
| MILOX/IN 3000 | 6,50                   | -         | 4200                          | 168                           | 1630                                  | 452            |
| MILOX/IN 4000 | 8,36                   | -         | 5500                          | 220                           | 3500                                  | 563            |
| MILOX/IN 5000 | 10,25                  | -         | 7200                          | 288                           | 5730                                  | 746            |

(\*) Salto térmico del primario: 90/70° C - Salida agua caliente: 45° C - Temperatura del agua de red: 10° C.

(\*\*) Sin incluir volumen nominal.

Tabla 9.1 Características técnicas de los interacumuladores solares

Sus condiciones nominales de funcionamiento son:

- Superficie de intercambio: 8,36 m<sup>2</sup>
- Cauda circulante entre el circuito de colectores y los intercambiadores: 5.500 litros/h
- Potencia de intercambio: 220kW
- Salto térmico del primario: 90/70°C
- Pérdida de carga máxima: 3,5 m.c.a

Por normativa, para el caso de intercambiador incorporado al acumulador, la relación entre la superficie útil de intercambio y la superficie total de captación no será inferior a 0,15. Teniendo en cuenta que para cubrir las necesidades de ACS con el sistema solar eran suficientes 45 paneles se tiene una relación de 0,16.

### Sistema de intercambio de energía entre el campo de colectores y las piscinas.

Para el intercambio de energía del sistema solar con las piscinas se diseñarán dos intercambiadores de placas, uno para cada piscina. En la instalación se dará prioridad a la generación de agua caliente sanitaria que será controlada por una válvula de tres vías, cuando esta esté satisfecha, todo el aporte solar irá destinado al calentamiento de los vasos de las piscinas, aportando todo el calor procedente de la totalidad de los captadores.

Como ya se ha mencionado, para el caso de utilizar intercambiadores independientes, la potencia mínima del intercambiador, **P**, deberá cumplir la condición:

$$P \geq 500 \cdot A$$

Siendo

P: Potencia mínima del intercambiador [W].

A: Área de captadores [m<sup>2</sup>].

Al tratarse de dos piscinas con dimensiones diferentes, habrá que disponer de dos intercambiadores de placas independientes.

Por las dimensiones de las piscinas, aproximadamente el 90 % de la energía se destinará a la piscina de mayores dimensiones y el 10 % de la energía a la segunda piscina, por lo que para dimensionar los intercambiadores de placas, “se imputará” del total de captadores, 135 captadores a la piscina de entrenamiento y 15 a la piscina de enseñanza.

- Intercambiador de placas piscina de entrenamiento:

Superficie Captadora: 307,8 m<sup>2</sup>

Fluido circuito primario: 40% Propilenglicol

Fluido circuito secundario: Agua

Potencia mínima intercambiador:  $P \geq 500 \cdot (135 \cdot 2,288) = 154,4\text{kW}$

Intercambiador proyectado: 165 kW

Régimen de cálculo del intercambiador: 80-60°C / 25-35°C (Solar / Piscina)

Superficie de intercambio efectiva: 1,24 m<sup>2</sup>

- Intercambiador de placas piscina de enseñanza:

Superficie Captadora: 34,32 m<sup>2</sup>

Fluido circuito primario: 40% Propilenglicol

Fluido circuito secundario: Agua

Potencia mínima intercambiador:  $P \geq 500 \cdot (15 \cdot 2,288) = 17,16\text{kW}$

Intercambiador proyectado: 20kW

Régimen de cálculo del intercambiador: 80-60°C / 25-35°C (Solar / Piscina)

Superficie de intercambio efectiva: 0,1m<sup>2</sup>

Se han seleccionado dos intercambiadores de placas de la marca SEDICAL, los datos técnicos de ambos se adjuntan en el Anexo III.

### Sistema de intercambio de energía entre las calderas y las piscinas.

El calentamiento de los vasos de las piscinas con el aporte de las calderas se realizará mediante dos intercambiadores de placas, uno para cada piscina.

Los intercambiadores a introducir deberán aportar la mayor potencia necesaria para la puesta a régimen o mantenimiento de cada una de las piscinas. En el caso del vaso de mayores dimensiones, requiere una potencia de puesta a régimen superior a la de mantenimiento y en el caso del vaso pequeño sucede al revés. Por tanto los intercambiadores se diseñarán en función de la mayor potencia necesaria de cada una de las piscinas.

Estos intercambiadores se conectarán con los intercambiadores diseñados para permitir el aporte solar al calentamiento de las piscinas definidos en el punto anterior, por lo que habrá que tener en cuenta los caudales que circulan por el circuito secundario de los intercambiadores anteriores.

Para ello se va a suponer que se tiene el máximo caudal posible circulando por el circuito primario de los intercambiadores de las piscinas en el caso de que todo el fluido del circuito primario solar se derive a las piscinas. Conocido el máximo caudal que llegaría a cada uno de los intercambiadores de calor del circuito de las piscinas, se puede determinar los caudales que circularían por el secundario de cada uno de ellos.

Dichos caudales, serían los que circularían por el circuito secundario de los intercambiadores del circuito de la caldera. Se seleccionan aquellos intercambiadores, que puedan aceptar dichos caudales por su circuito secundario y que a su vez, en caso de que los paneles solares no funcionasen, sean capaces de suministrar la potencia necesaria para vencer las pérdidas en piscinas.

- Intercambiador de placas piscina de entrenamiento:

Dicho intercambiador estará conectado con el intercambiador diseñado para el aporte solar y con el de la deshumectadora, estos dos últimos conectados en paralelo. Por tanto ha de ser capaz de aceptar en su circuito secundario, el caudal secundario del intercambiador solar, 14.273,5 l/h, más el procedente de la deshumectadora, 7.500l/h, haciendo un total de 22.223,5 l/h. Con este caudal y las temperaturas de trabajo seleccionadas, se requiere un intercambiador de **256,9kW** de potencia de intercambio. Esta potencia cubre perfectamente la necesaria para la puesta a régimen en caso de que la solar no aportase calor en ese momento.

Potencia necesaria para puesta a régimen: 183,8kW

Intercambiador proyectado: 256,9kW

Régimen de cálculo del intercambiador: 80-60°C / 25-35°C (Calderas / Piscina)

Superficie de intercambio efectiva: 1,8m<sup>2</sup>

- Intercambiador de placas piscina de enseñanza:

Dicho intercambiador estará conectado en paralelo con el intercambiador diseñado para el aporte solar.

Potencia necesaria para vencer pérdidas del vaso: 23,51kW

Intercambiador proyectado: 25kW

Régimen de cálculo intercambiador: 80-60°C / 25-35°C (Calderas / Piscina)

Superficie de intercambio efectiva: 0,1 m<sup>2</sup>

Se han seleccionado dos intercambiadores de placas de la marca SEDICAL, los datos técnicos de ambos se adjuntan en el Anexo III.

### Sistema de intercambio de energía entre la caldera y el acumulador de ACS

Para el depósito de ACS de 2.500l calentado mediante el aporte de las calderas, se diseñará un intercambiador de placas exterior para facilitar su mantenimiento.

En este caso, existe un único intercambiador, situado entre el circuito de la caldera y el depósito de apoyo de ACS. Se ha optado por un intercambiador de placas realizado en acero inoxidable.



Para el ACS se requiere una potencia de 115kW tal y como se calculó en el capítulo 6 del presente proyecto, Agua caliente sanitaria.

Los datos de diseño considerados en su selección son los siguientes:

- Potencia necesaria para calentamiento del depósito: 115kW
- Intercambiador proyectado: 120kW
- Régimen de cálculo intercambiador: 80-60°C / 60-50°C
- Superficie de intercambio efectiva: 1,9m<sup>2</sup>
- Caudal circuito primario/secundario: 5.276 l/h /10.485,7 l/h

También se ha escogido un intercambiador de placas de la marca SEDICAL cuyos datos técnicos se adjuntan en el Anexo III.

## 9.2 Tuberías

Todas las tuberías se escogerán acorde a las especificaciones del RITE en el apartado de redes de tuberías y conductos de sus instrucciones técnicas (IT1.3.4.2). El reglamento RITE limita a 40mm.c.a. /ml la pérdida de carga máxima en tramos rectos.

La diferencia de presiones debida a las curvas, reducciones,...etc., se calcula como un número determinado de tramo recto. Por tanto, cada impedancia del circuito equivaldrá a un determinado número de metros rectos que habrá que sumar a los reales (longitud equivalente).

En las instalaciones pequeñas y medianas, la pérdida de carga total (debida a los equipos, la longitud de los tramos y los accesorios) viene muy determinada por la pérdida de carga de los equipos, muy superior al resto.

Toda la red de tuberías está ya instalada, se realizará una inspección de toda la instalación de tuberías y se sustituirán aquellos tramos que presenten deterioro o que no sean adecuados para los nuevos equipos. Para ello se realizará de nuevo todo el cálculo de tuberías de la instalación hidráulica, teniendo en cuenta la compatibilidad con el fluido, para ACS los productos en contacto con el agua de consumo humano deberán estar marcados y certificados; la presión y temperatura de trabajo; y que deberán de ser capaces de soportar periódicamente 70°C, siendo las temperaturas habituales superiores a 50°C.

Todas las tuberías por las que circule agua de las piscinas serán de PVC por los componentes químicos que porta, como el cloro, y el resto serán de cobre.

Los diámetros de tuberías finalmente instalados que se han seleccionado en función de los caudales que circularán quedan reflejados en el Anexo II, Planos, en el plano denominado Diagrama de Flujo.

El aislamiento de las tuberías es el prescrito según las indicaciones de la IT 1.2.4.2.1 del RITE, referente a las redes de tuberías y conductos en los edificios. Se debe asegurar un aislamiento que se encuentra entre dentro del grupo de fluidos con temperaturas de entre los 60 y los 10°C, estas son temperaturas esperadas en régimen normal de funcionamiento.

Otra de las exigencias del RITE en cuanto al aislamiento es que toda instalación térmica por la que circulen fluidos no sujetos a cambio de estado, en general las que el fluido caloportador es agua, las pérdidas térmicas globales por el conjunto de conducciones no superarán el 4 % de la potencia máxima que transporta.

El aislamiento de las tuberías de agua caliente de calefacción se realizará con coquillas fabricadas con espuma elastomérica con un coeficiente de conductividad térmica de 0,040W/m°C y resistencia al fuego M1, el grueso de las cuales, expresado en mm, dependerá del diámetro nominal de la tubería y de la temperatura del fluido.

Se emplearán las tablas definidas por el RITE que establecen el espesor mínimo de aislamiento en función de la temperatura máxima que pueda alcanzar el fluido y el diámetro de la tubería.

### 9.3 Válvulas

Se instalarán válvulas de tres vías gobernadas por sondas de temperatura en los circuitos primarios de los intercambiadores solares, con el objetivo de derivar el caudal de nuevo a la instalación solar sin que circule por el intercambiador en caso de que el sistema solar no esté aportando calor en ese momento, evitando así el intercambio con el agua procedente de las piscinas.

A la salida del depósito de acumulación se colocará una válvula de 3 vías monitorizada a través de una sonda de temperatura. Una vía vendrá del depósito, otra del agua de recirculación mezclada con agua de red y la última será la que mande el caudal al consumo. Las válvulas de seguridad de los depósitos para ACS suelen estar taradas a 8bar.

Se colocará otra válvula de tres vías después de la bomba de recirculación para dirigir este caudal de agua hacia el depósito de cabeza o hacia los interacumuladores solares.

Se instalarán válvulas antirretorno en todas las tuberías donde sea necesario además de las válvulas de corte necesarias para poder aislar equipos y permitir el correcto mantenimiento de la instalación.

En los planos adjuntos del Anexo II se puede observar la ubicación de todas las válvulas requeridas en la instalación hidráulica.

Las válvulas se ajustarán en tipo características, diámetro nominal (DN), presión nominal (PN) y presión de prueba a las adecuadas para un perfecto servicio en las condiciones de trabajo que se hayan de someter.

Para un diámetro igual o inferior a DN 50 y presión nominal igual o inferior a PN 16 Kg/cm<sup>2</sup> las válvulas serán roscadas. Para diámetros o presiones superiores serán de montaje con bridas.

Las válvulas roscadas irán provistas en los dos extremos de enlaces que permitan un fácil desmontaje. Las válvulas que se monten prisioneras entre 2 bridas (mariposa, retención...), estas bridas serán con cuello, según norma DIN 2632 para PN 10, según norma DIN 2633 para PN 16 y según norma 2634 para PN 25. En todo caso el cierre de las válvulas será progresivo para evitar los golpes de ariete.

El número, posición y diámetros de los taladros de las bridas, así como el diámetro de las mismas, se ajustará a la norma DIN correspondiente a dicha brida. Al igual que las juntas entre bridas que se instalen.

Las válvulas para servicio de regulación se deberán poder bloquear en todas las posiciones y deberán llevar indicación de obertura. Las válvulas motorizadas deberán de estar provistas de un mecanismo de accionamiento manual así como un indicador de posición.

También se ha de tener en cuenta las pérdidas de carga de las válvulas, filtros...etc., que forman parte del circuito que será necesario conocer para el cálculo de las bombas. Se pueden obtener aplicando la siguiente fórmula:

$$\Delta h = k * \left( \frac{V^2}{2g} \right)$$

**Δh:** Pérdida de carga en metros de columna de agua.

**V:** Velocidad del agua (m/s)

**G:** gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>)

**K:** coeficiente de pérdida de la válvula. Los valores de estos coeficientes se recogen en la siguiente tabla donde estos coeficientes son adimensionales para obtener finalmente los valores de las alturas de las pérdidas de carga en metros por columnas de agua que es la variación de altura que se debe obtener

| DIÁMETRO NOMINAL |     | TIPOS DE VÁLVULAS |           |        |
|------------------|-----|-------------------|-----------|--------|
| PULGADAS         | MM  | REGULACIÓN        | ANTI-RET. | FILTRO |
| (1/4)            | 10  |                   | 8         | 0.4    |
| (1/2)            | 15  |                   | 5.5       | 0.3    |
| (3/4)            | 20  | 6.1               | 3.7       | 0.3    |
| 1                | 25  | 4.6               | 3         | 0.2    |
| 1 1/4            | 32  | 3.6               | 2.7       | 0.2    |
| 1 1/2            | 40  | 2.9               | 2.5       | 0.2    |
| 2                | 50  | 2.1               | 2.3       | 0.2    |
| 2 1/2            | 65  | 1.6               | 2.2       | 0.2    |
| 3                | 80  | 1.3               | 2.1       | 0.1    |
| 4                | 100 | 1                 | 2         | 0.1    |

Tabla 9.2 Coeficientes de pérdidas

## 9.4 Bombas de circulación

Para poder diseñar una bomba se requiere conocer previamente dos parámetros:

1. Caudal: debe ser el de la instalación, según las necesidades térmicas.
2. Presión disponible: se debe conocer la presión que deberá vencer en el tramo más desfavorable. Normalmente se aplica un coeficiente de seguridad (10%-20%).

Los fabricantes proporcionan las curvas de funcionamiento de sus bombas, en base al caudal y presión disponible para un mismo rodete.

Si se observa cualquier gráfica se debe tener presente los siguientes puntos:

- El punto más estable de trabajo, donde el rendimiento es el más alto, se corresponde a la zona central.
- Nunca se debe elegir la bomba de la curva más alejada, que se corresponde con el último rodete, ya que si por algún motivo se tiene que aumentar las prestaciones, no se tenga que cambiar la bomba.
- Los purgadores de vapor se acostumbran a colocar en las partes altas de la instalación. Para permitir que salga el aire que pueda hacer en la tubería.
- Normalmente se colocan dos bombas, una en funcionamiento.

Las bombas suelen ir acompañadas de manómetros para poder chequear la presión y conocer si una instalación tiene fugas (antes de aislarla se deben efectuar las pruebas). El punto más desfavorable (con menos presión) será el de retorno que posee más altura, y por tanto servirá para el llenado de agua de la instalación.

En el caso de circuitos cerrados, si se lleva fluido desde la salida de la bomba hasta su entrada, únicamente hay que tener en cuenta para el cálculo de la altura manométrica que debe vencer la bomba los coeficientes de pérdidas de carga de los accesorios y el tramo de tubería. En el caso de los circuitos que llegan a la deshumectadora ubicada en la cubierta del edificio, aunque haya que subir el fluido hasta la cubierta, esa presión que habría que aplicarla, se gana luego en la bajada del fluido, por lo que al ser un circuito cerrado no se tiene en cuenta la altura geométrica para el diseño de la bomba.

Una vez dimensionados las redes de tuberías que constituyen todo el circuito hidráulico, y evaluadas las pérdidas de carga de los distintos elementos previstos en el mismo, se procede al dimensionamiento y selección de las bombas de circulación de los distintos circuitos. Para ello se empleará de nuevo el programa de SEDICAL, cuyos resultados se recogen en el Anexo III, Documentación técnica de equipos.

La siguiente tabla muestra un resumen de los diferentes circuitos de la instalación, las pérdidas de carga asociadas a los mismos y el modelo de bomba requerida para cada uno de ellos.

| BOMBA  | Circuito                          | CAUDAL<br>[l/h] | Caudal<br>por<br>Circuito<br>[l/h] | PÉRDIDAS (m.c.a.) |                  |            |       |
|--|-----------------------------------|-----------------|------------------------------------|-------------------|------------------|------------|-------|
|  |                                   |                 |                                    | Tuberías          | Intercambiadores | Accesorios | TOTAL |
| Calderas-ACS                                       | -                                 | 5.276           | -                                  | 0,21              | 3                | 0,2        | 3,41  |
| Calderas-Piscina enseñanza                         | -                                 | 1.467,1         | -                                  | 0,66              | 3                | 0,2        | 3,86  |
| Calderas-Piscina entrenamiento//<br>Deshumectadora | Intercambiador Caldera            | 17.495,4        | 11.295,4                           | 0,119             | 3                | 0,25       | 2,88  |
|  | Batería Deshumectadora            |                 | 6.200                              | 0,544             | 5                | 0,15       |       |
|  | Impulsion Retorno Caldera         |                 | 17.495,4                           | 0,1               | 0                | 0          |       |
| Vaso de entrenamiento                              | Vaso-Deshumectadora               | 22.223,5        | 7500                               | 0,8               | 5,1              | 0,15       | 7,75  |
|  | Vaso-Intercamb.Solar              |                 | 14.273                             | 0,4               | 3                | 0,16       |       |
|  | Retorno piscina                   |                 | 22.223,5                           | 0,52              | 3                | 0,2        |       |
| Vaso de enseñanza                                  | Vaso-Secundario Intercamb.Caldera | 3.892,6         | 2.162,6                            | 0,2               | 3                | 0,1        | 3,15  |
|  | Vaso-Secundario Intercamb.Solar   |                 | 1.730,1                            | 0,1               | 3                | 0,1        |       |
|  | Impulsion Retorno piscina         |                 | 3.892,6                            | 0,7               | 0                | 0,1        |       |

| BOMBA  | Circuito                           | Nº BOMBA  | MODELO DE BOMBA     |
|--|------------------------------------|-----------|---------------------|
| Calderas-ACS                                   | -                                  | <b>B1</b> | SIM 40/145.1-0,20/K |
| Calderas-Piscina enseñanza                     | -                                  | <b>B2</b> | SAP 25/8 T          |
| Calderas-Piscina entrenamiento//Deshumectadora | Intercambiador Caldera             | <b>B3</b> | SIM 50/150.1-0,25/K |
|  | Batería Deshumectadora             |           |                     |
|  | Impulsion Retorno Caldera          |           |                     |
| Vaso de entrenamiento                          | Vaso-Deshumectadora                | <b>B5</b> | SIM 65/190.1-0,75/K |
|  | Vaso-Intercamb.Solar               |           |                     |
|  | Retorno piscina                    |           |                     |
| Vaso de enseñanza                              | Vaso- Secundario Intercamb.Caldera | <b>B6</b> | SAP 25/8 T          |
|  | Vaso-Secundario Intercamb.Solar    |           |                     |
|  | Impulsión-Retorno piscina          |           |                     |
| Grupo de bombeo solar (bomba doble)            | Instalación solar                  | <b>B8</b> | SDP 40/145.1-1,5/K  |

Tabla 9.3 Modelos de bombas requeridas en la instalación

## 9.5 Contadores

Se ubicarán contadores en la entrada general del agua fría después del filtro y a continuación del contador una válvula antiretorno, en el retorno de las calderas y del primario del agua caliente sanitaria. También habrá un contador de energía en la instalación solar.

## 10. DISEÑO DEL CONTROL DE LA INSTALACIÓN

Toda la instalación se va a controlar y regular mediante un autómatas programable (PLC), la unidad de regulación escogida es de la marca SIEMENS.

Esto permite el seguimiento de toda la instalación a través de cualquier ordenador mediante un software con el que se puede controlar todas las variables objeto de control. Esto supone grandes ventajas tanto para el funcionamiento eficiente de la instalación como para el mantenimiento de la misma, ya que frente a cualquier problema que pueda surgir en el funcionamiento éste se puede analizar en el momento de la alarma sin necesidad de estar presente en la instalación.

Todo sistema automatizado está formado por tres partes claramente diferenciadas:

- La parte operativa o proceso que se desea controlar.
- La parte de control o controlador utilizado para gobernar la parte operativa de la manera deseada.
- La parte de supervisión y explotación del sistema que servirá de interfaz entre el operador y el sistema automatizado. Genéricamente a esta función se le conoce con el acrónimo HMI del inglés “Human Machine Interface” o interfaz hombre máquina.

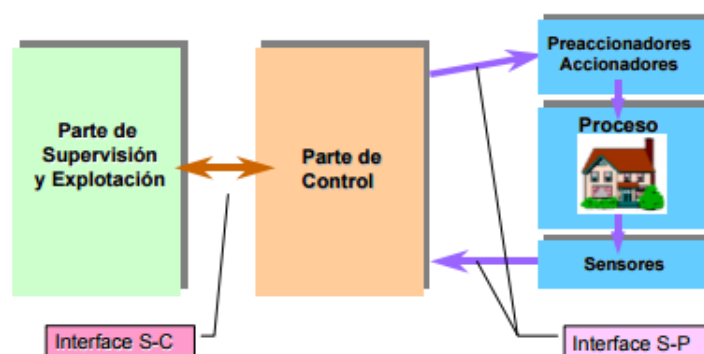


Figura 16 Esquema general de un sistema automatizado

En este caso la parte operativa está integrada por los distintos componentes que forman las distintas instalaciones o sistemas (climatización, sistema solar, calderas, depósitos, etc.) susceptibles de ser controlados en el edificio.

Parte destacada de estos componentes son los sensores y los actuadores. Los primeros serán empleados para detectar las magnitudes físicas del proceso (presencia de humo, inundación, etc.) relevantes para poder llevar a cabo el correcto control de las instalaciones. La información de estas magnitudes una vez convertida en una señal eléctrica y adaptada al rango de trabajo del equipo de control, es transmitida a éste por medio del interfaz de conexión correspondiente. El equipo de control con esta información y en base al programa de

control que reside en su memoria, tomará las decisiones oportunas para mantener el proceso dentro de los márgenes de trabajo definidos por el usuario. Estas decisiones se traducirán en acciones sobre los componentes de los sistemas del edificio en cuestión. Estas acciones serán ejecutadas por medio de los preaccionadores y accionadores del proceso (relés, contactores, electroválvulas, etc.). Estos dispositivos se hallan conectados al equipo de control por medio de una interfaz adecuada. Se logra así transformar las señales eléctricas que produce el equipo de control en acciones sobre los distintos componentes.

### Concepto de autómatas programable

Los PLC's o Autómatas Programables, son dispositivos electrónicos creados específicamente para el control de procesos secuenciales, es decir procesos compuestos de varias etapas consecutivas, con el fin de lograr que una máquina o cualquier otro dispositivo funcione de forma automática. Están diseñados para trabajar en tiempo real en un entorno industrial y por tanto hostil. Además, el PLC estará de forma tal que la conexión del mismo con el proceso a controlar será rápida y sencilla por medio de entradas y salidas de tipo digital o analógico.

### Entradas y Salidas

Las entradas y salidas son los elementos del PLC que lo vinculan al campo.

Las entradas del PLC pueden definirse como los canales que le permiten adquirir información procedente de los sensores acerca de cómo se encuentra el proceso en cada momento, estas adaptan las señales de sensores para que la CPU las reconozca.

Las salidas del PLC se pueden definir como los canales que permiten al PLC enviar órdenes de ejecución a los componentes del proceso empleando los preaccionadores y los accionadores del proceso, estas activan un circuito de conexión (transistor, triac o relé) ante una orden.

La unidad de regulación de SIEMENS destinada a la instalación objeto del presente proyecto trabaja con señales analógicas.

### Entradas Analógicas

El PLC fue originalmente diseñado para el control de estados lógicos (si-no), y es un equipo de tecnología digital. Por lo tanto la única manera que tiene de trabajar con valores analógicos es que éstos se representen internamente por medio de números en formato binario. La principal tarea de una tarjeta de entrada analógica es precisamente la de convertir un valor analógico en un número en formato binario, por medio de un conversor A/D. La siguiente figura muestra el esquema de un conversor A/D:

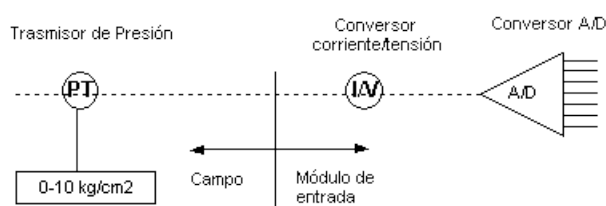


Figura 17 Esquema de un conversor Analógico/Digital

En la estructura de una entrada analógica se pueden distinguir las siguientes partes básicas:

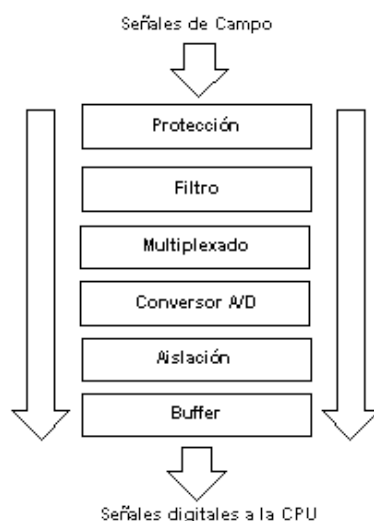


Figura 18 Diagrama de bloques de una entrada analógica

- Protección: Impide daños al módulo y al resto del PLC por conexión con polaridad invertida o fuera del rango permitido.
- Filtro analógico: Elimina posibles ruidos que ingresen por la instalación. Básicamente consiste en un filtro pasabajos, que permite que las señales de baja frecuencia lleguen al convertor A/D, evitando el paso de las señales de alta frecuencia. Este filtro es necesario, ya que en caso contrario podrían aparecer señales de alta frecuencia enmascaradas como señales de baja frecuencia
- Multiplexado: Esta etapa consiste en un selector que envía un canal de entrada por vez al convertor A/D.
- Convertor A/D: Es el encargado de transformar la señal analógica en un número binario interpretable por la CPU.
- Aislación: En algunos equipos se dispone de optoaisladores a continuación del convertor A/D, para separar la CPU del campo.
- Buffer: Memoria donde se almacenan los valores que provienen del convertor, mientras éste opera sobre los demás canales. Aquí es donde la CPU lee los valores numéricos convertidos.

Los PLCs permiten por tanto a las empresas mejorar su competitividad al permitirles incrementar su productividad a unos costes adecuados y sin sacrificar la calidad, más bien al contrario, aumentándola. Además, son herramientas de fácil manejo por medio de software de programación y configuración.

Para llevar a cabo el control de la instalación mediante el PLC de SIEMENS, previamente se ha realizado un análisis de los sistemas a controlar para diseñar las señales de entrada necesarias para este control mediante PIDs. Estos sistemas se controlarán por medio de las válvulas de 3 vías motorizadas y sondas de temperatura ubicadas en toda la instalación.



La siguiente tabla muestra todas las sondas de temperatura requeridas para el control de toda la instalación y su descripción. Todas ellas además quedan reflejadas en el esquema de principio recogido en el Anexo II, Planos.

|            |   |
|------------|---|
| <b>T01</b> | Temperatura impulsión Caldera 1   |
| <b>T02</b> | Temperatura impulsión Caldera 2   |
| <b>T03</b> | Temperatura retorno Caldera 2   |
| <b>T04</b> | Temperatura retorno Caldera 1   |
| <b>T05</b> | Temperatura Deposito ACS  |
| <b>T06</b> | Temperatura Interacumulador Solar 1   |
| <b>T07</b> | Temperatura Interacumulador Solar 2   |
| <b>T08</b> | Temperatura entrada primario intercambiador caldera vaso pequeño                |
| <b>T09</b> | Temperatura salida primario intercambiador caldera vaso pequeño                 |
| <b>T10</b> | Temperatura retorno intercambiador solar vaso pequeño                           |
| <b>T11</b> | Temperatura entrada agua solar al sistema                                       |
| <b>T12</b> | Temperatura retorno primario intercambiador solar vaso grande                   |
| <b>T13</b> | Temperatura salida primario intercambiador caldera vaso grande                  |
| <b>T14</b> | Temperatura entrada primario intercambiador caldera vaso grande                 |
| <b>T15</b> | Temperatura salida secundario intercambiador calderas vaso pequeño              |
| <b>T16</b> | Temperatura salida secundario intercambiador solar vaso pequeño                 |
| <b>T17</b> | Temperatura salida secundario del intercambiador calderas vaso grande           |
| <b>T18</b> | Temperatura entrada secundario del intercambiador calderas vaso grande          |
| <b>T19</b> | Temperatura de entrada de agua vaso grande a deshumectadora                     |
| <b>T20</b> | Temperatura salida deshumectadora retorno calderas                              |
| <b>T21</b> | Temperatura del agua vaso grande a la salida de la deshumectadora               |
| <b>T22</b> | Temperatura impulsión radiadores vestuarios                                     |
| <b>T23</b> | Temperatura retorno radiadores vestuarios                                       |
| <b>T24</b> | Temperatura salida secundario del intercambiador solar vaso grande              |
| <b>T25</b> | Temperatura salida agua vaso grande   |
| <b>T26</b> | Temperatura salida comun secundario intercambiador caldera+solar a vaso pequeño |
| <b>T27</b> | Temperatura salida agua vaso pequeño  |
| <b>T28</b> | Temperatura entrada secundario del intercambiador solar vaso pequeño            |
| <b>T29</b> | Temperatura salida instalación solar hacia ACS e intercambiadores solares       |
| <b>T30</b> | Temperatura de impulsión hacia la instalación solar                             |
| <b>T31</b> | Sonda Temperatura exterior  |
| <b>T32</b> | Sonda Temperatura vestuarios  |

**Tabla 10.1 Relación de sondas de temperatura dispuestas en la instalación**

A continuación se describe el funcionamiento de los diferentes sistemas que van a ser controlados a través del PLC.

## 10.1 Baterías Deshumectadora

Las condiciones de ambiente definidas en el interior del recinto de las piscinas, se gestionan de forma autónoma por la deshumectadora. Esta a su vez dispone de una batería que está alimentada por las calderas cuya función es la de calentar el aire antes de impulsarlo al recinto y por otra batería a través de la que transfiere calor al agua de la piscina de mayores dimensiones, calor obtenido de las baterías evaporadoras en el tratamiento del aire de retorno de la piscina.

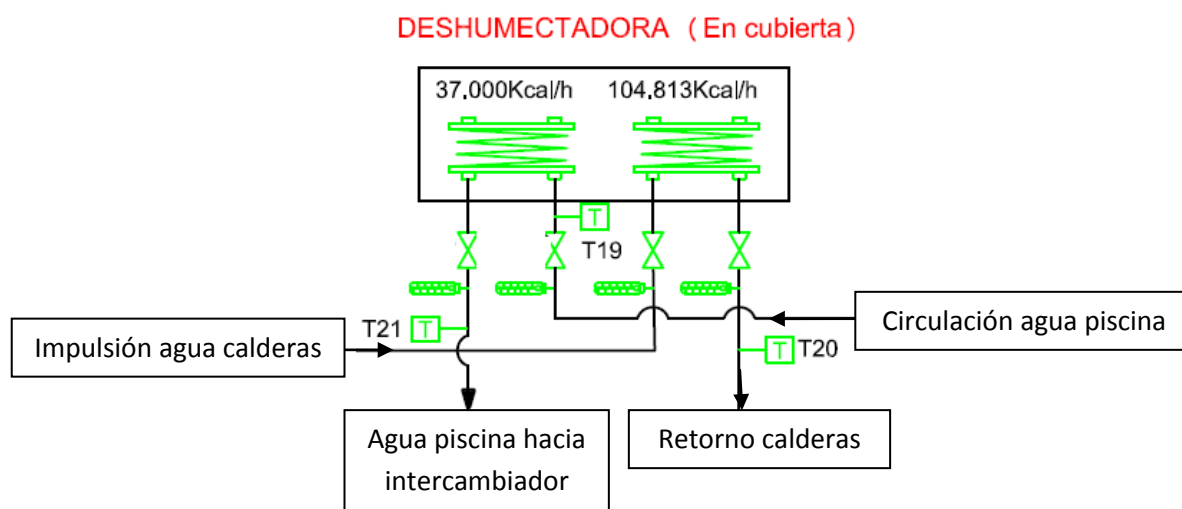


Figura 19 Sondas de temperatura en deshumectadora

Se controlará la recuperación de energía de la deshumectadora mediante las sondas de temperatura T19 y T21. La recuperación de energía va directamente a la parte recirculada del agua del vaso de mayores dimensiones. En principio no hay limitación, es decir, se recuperará el máximo que aporte la unidad, a pesar de que se adquieran las condiciones de consigna del agua que la atraviesa para el vaso. En principio el límite de esta unidad está en 45-60 °C de agua recirculada que es cuando puede presentar problemas de condensación pues usa el agua del vaso para condensar.

Se controlará el calor aportado por medio de las calderas a la batería de la deshumectadora mediante las sondas de temperatura T01 y T20.

Se dispondrá de señales de orden marcha paro, estado, y alarma.

## 10.2 Calentamiento de los vasos de las piscinas

Definida la temperatura de consigna para cada uno de los vasos, la lectura por debajo de ese valor (con la correspondiente histéresis<sup>2</sup>) de cualquiera de las sondas de temperatura correspondientes a cada uno de los vasos, activa la producción de calor del circuito correspondiente. El funcionamiento de la instalación debe ser muy sencillo, utilizando todo el calor disponible en cada momento de la solar y residual de la deshumectadora.

La temperatura de consigna será registrada por las sondas de temperatura:

- Vaso de entrenamiento: T25
- Vaso de enseñanza: T27

La temperatura de consigna de cada uno de los vasos, podrá ser definida según 2 horarios, que también serán configurables, uno será el horario de apertura al público y cuyas consignas serán las habituales de funcionamiento de las piscinas, y un segundo horario que se corresponderá con la noche, donde se podrían bajar los valores de consigna de ambas piscinas con el objetivo de ahorrar y conseguir un funcionamiento más eficiente.

El proceso de puesta a régimen se debe hacer con el aporte máximo de la instalación solar y regulando el aporte de las calderas. En caso de no recibir aporte por la instalación solar, las calderas están diseñadas para garantizar por si solas el calentamiento de la piscina.

**La activación de la producción de calor sigue la siguiente secuencia:**

### Vaso de entrenamiento

Este vaso se calienta por medio de un circuito en el que el intercambiador solar y la deshumectadora están conectados en paralelo y a la salida de ambos todo el caudal de agua circulará por el intercambiador alimentado por la caldera hasta retornar a la piscina. Su calentamiento estará gobernado por la sonda de temperatura T25.

---

<sup>2</sup> Desviación de la señal de salida del sensor en un punto específico de la señal de entrada.

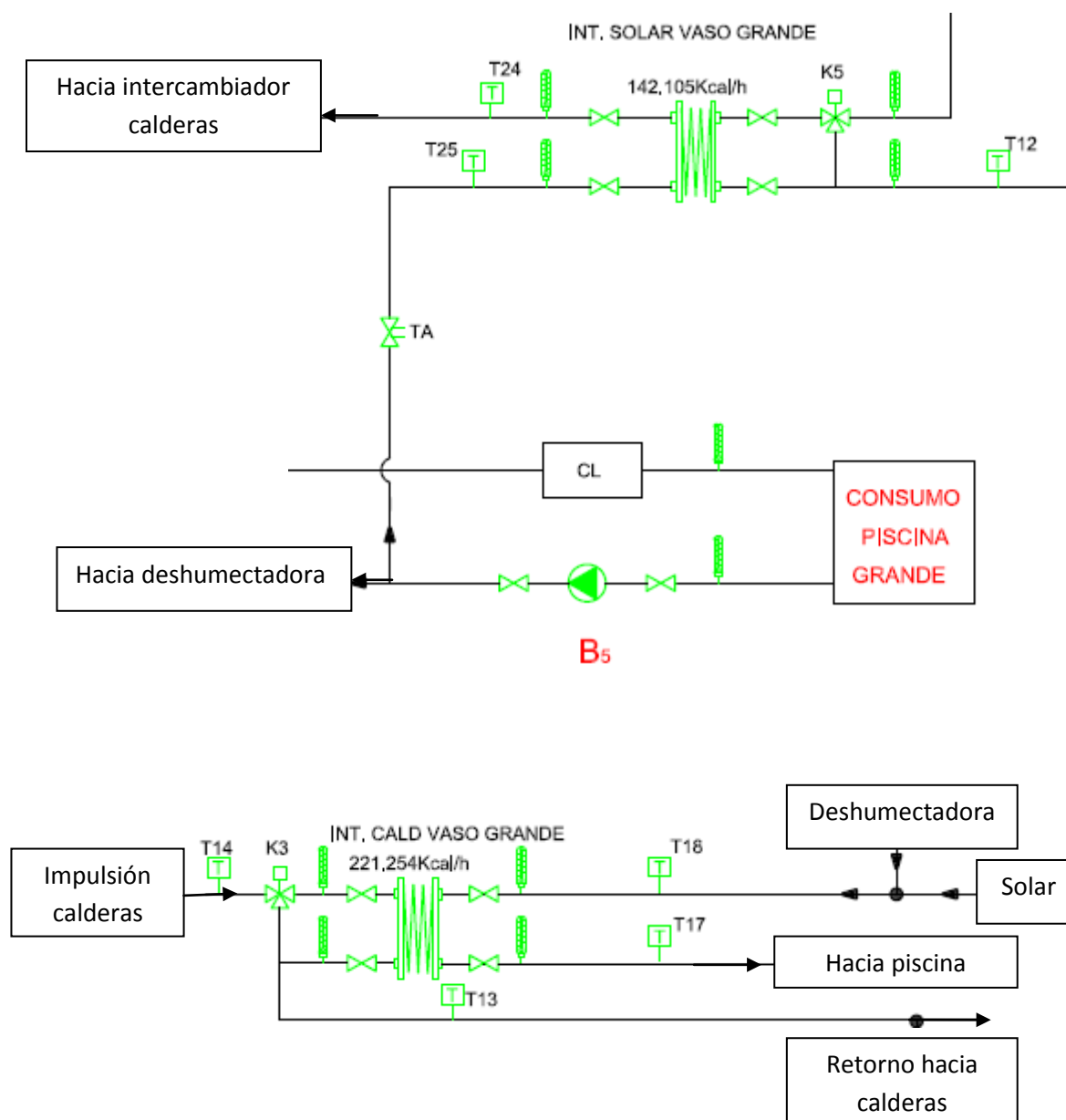


Figura 20 Sondas de temperatura para control piscina

Secuencia de activación de la producción de calor:

- Orden de arranque de bomba aceleradora del circuito de la piscina, bomba número 5. Verificación de su estado, si se produce algún fallo saltará una alarma (por térmico) y no se podrá poner en marcha el sistema de calentamiento aunque actuarán las seguridades de cada sistema de calentamiento.

- La bomba número 3 debe estar funcionando siempre, para tener aporte de calor instantáneo, tanto en la batería de la deshumectadora como en el intercambiador de la piscina.
- Apoyo solar: Como ya se ha mencionado en apartados anteriores, el sistema dará prioridad al calentamiento del agua caliente sanitaria, todo el aporte solar irá a los acumuladores solares hasta que ambos alcancen las temperaturas de consigna, una vez alcanzadas, todo el aporte solar irá destinado al calentamiento del agua de los vasos. Por tanto la instalación solar dará 100 % hacia ACS o 100 % hacia los vasos en función del valor registrado en las sondas ubicadas en los interacumuladores solares, T06 y T07. El caudal proveniente de la instalación solar será controlado por una válvula de 3 vías TN, esta se encargará de mandar todo el caudal hacia los acumuladores solares o hacia las piscinas.

Mientras haya aporte solar hacia los vasos, en el caso de la piscina de entrenamiento la válvula de tres vías K5 permanecerá abierta y regulará en función de los valores registrados en las sondas pertinentes, esta cerrará en cuanto no haya aporte solar ya que si no podría llegar a enfriar el agua proveniente de la piscina ya que siempre circulará por el secundario de ese intercambiador.

- Se fijará valor máximo de temperatura de impulsión: sonda T17. Esta sonda se ubica a la salida del secundario del intercambiador de las calderas para la piscina de entrenamiento, es importante controlar la temperatura que se pueda alcanzar en la piscina para evitar un sobrecalentamiento innecesario de la misma y en consecuencia un posible malestar de los usuarios.
- Se fijará un salto térmico en modo ahorro entre la salida del secundario del intercambiador solar y la entrada al secundario del intercambiador alimentado por las calderas: T18 - T25. De manera que si el aporte solar junto con el aporte de la deshumectadora es suficiente para mantener la consigna del vaso, el aporte mediante calderas no será necesario y la válvula K3 desviará el caudal. Esta misma válvula irá regulando el caudal en función de los valores registrados por las sondas para un aporte por medio de las calderas mayor o menor en función de las necesidades.
- Se fijará un salto térmico objetivo en modo normal entre las sondas T17 y T25 que se corresponden con la salida del secundario del intercambiador alimentado por las calderas y la temperatura de salida de la piscina respectivamente. La diferencia de temperatura entre ambas sondas es la que permitirá conocer si la temperatura de la piscina está en su valor fijado y se dará orden de aporte con las calderas o no. También será regulado por medio de la válvula de tres vías K3, que abrirá proporcionalmente en función de los valores registrados. Además se fijarán los tiempos en los que se vuelva a analizar los datos para seguir regulando o cambiado las funciones de los diferentes equipos.

Nota: el control de arranque de cada caldera será automático por control de Viessmann, solo se necesita señal de arranque de instalación, señales de estado de calderas y de averías.

Los saltos térmicos mencionados se crean a través de una variable en el control que será la resta de los valores registrados en las sondas, a cada variable se le fija un objetivo y en función de este se actúa sobre otro elemento (válvulas de tres vías, bombas...).

### Vaso de enseñanza

Este vaso se calienta por medio de un circuito en el que el intercambiador solar y el intercambiador alimentado por la caldera están conectados en paralelo. Su calentamiento estará gobernado por la sonda de temperatura T27.

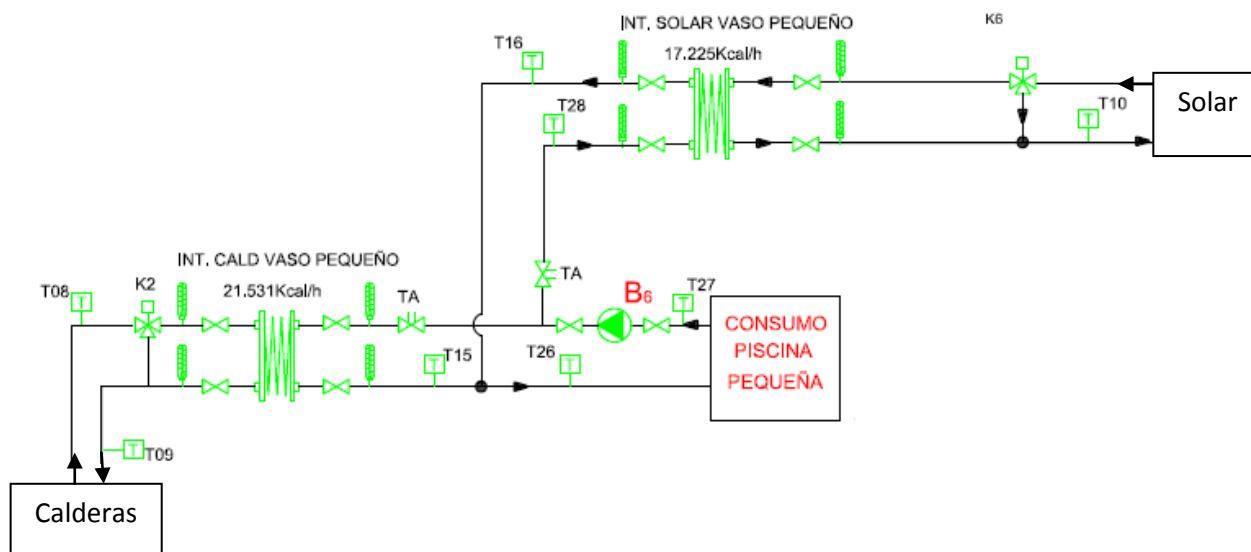


Figura 21 Sondas de temperatura piscina enseñanza

- Orden de arranque de bomba aceleradora del circuito de la piscina, bomba número 6. Verificación de su estado, si se produce algún fallo saltará una alarma (por térmico) y no se podrá poner en marcha el sistema de calentamiento aunque actuarán las seguridades de cada sistema de calentamiento.
- Bomba 2 debe estar funcionando siempre para tener aporte instantáneo de calor en caso de ser necesario.
- Apoyo solar: La instalación solar dará 100 % hacia ACS o 100 % hacia los vasos en función del valor registrado en las sondas ubicadas en los interacumuladores solares, T06 y T07. El caudal proveniente de la instalación solar será controlado por una válvula de 3 vías TN, esta se encargará de mandar todo el caudal hacia los acumuladores solares o hacia las piscinas.

Una vez que esté satisfecha la demanda de ACS y haya aporte solar hacia los vasos, en el caso de la piscina de enseñanza, la válvula de tres vías K6 permanecerá abierta y regulará proporcionalmente en función de los valores registrados en las sondas pertinentes, esta cerrará en cuanto no haya aporte solar ya que si no podría llegar a enfriar el agua

proveniente de la piscina ya que siempre circulará por el secundario de ese intercambiador.

- Se fijará valor máximo de temperatura de impulsión hacia la piscina: sonda T26. Esta sonda se ubica a continuación de donde se juntan los caudales provenientes del intercambiador solar y del de la caldera, se fija un valor máximo para evitar un sobrecalentamiento innecesario de la piscina y en consecuencia un posible malestar de los usuarios.
- Se fijará salto térmico objetivo en modo ahorro entre la salida del secundario del intercambiador solar y la salida de agua de la piscina: T16- T27. Esto permitirá conocer si la instalación solar está aportando calor y si se requiere o no aporte de las calderas cuyo caudal se regulará a través de la válvula de tres vías K2.
- Se fijará salto térmico objetivo en modo normal: T26 – T27. La diferencia de temperatura entre ambas sondas es la que permitirá conocer si la temperatura de la piscina está en su valor fijado o va alcanzando la temperatura suficiente para su funcionamiento, y se dará orden de aporte con las calderas o no. Será regulado por medio de la válvula de tres vías K2 que en caso de ser necesario el aporte de calor mediante las calderas abrirá proporcionalmente hasta alcanzar el objetivo de temperatura en el vaso. Además se fijarán los tiempos en los que se vuelva a analizar los datos para seguir regulando o cambiado las funciones de los diferentes equipos.

En el momento en el que la demanda de los vasos y del ACS esté satisfecha y siga habiendo aporte solar, actuará el sistema Drain-Back.

## 10.4 Calentamiento Circuito ACS

Se fijará consigna en el depósito acumulador de 2500l, y su correcto funcionamiento se controlará a través de los registros de la sonda T05.

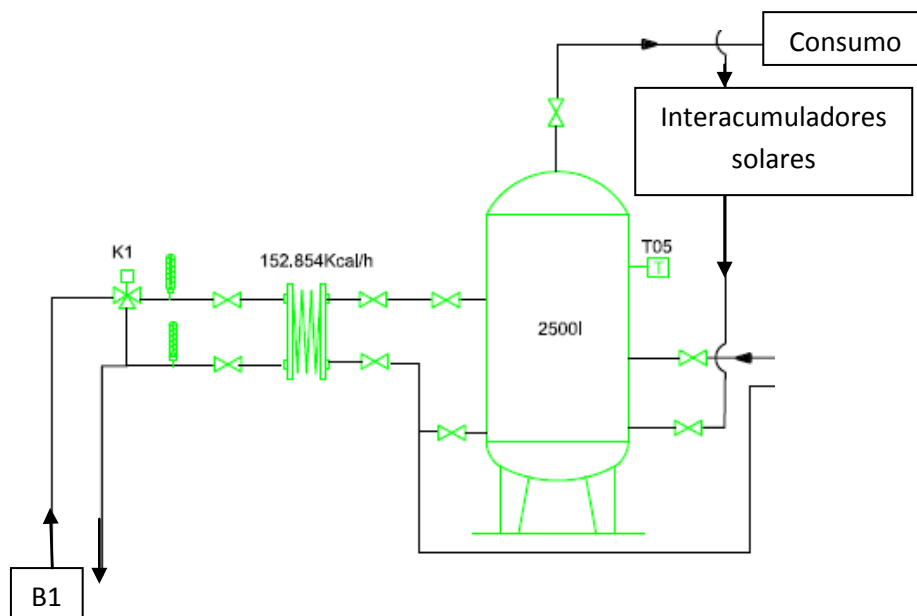


Figura 22 Sonda de temperatura depósito ACS

En el momento que requiera producción de calor se dará orden de arranque a la bomba número 1 y la válvula K1 abrirá proporcionalmente hasta alcanzar la temperatura de consigna en el depósito.

## 10.5 Calentamiento Circuito Radiador Planta Baja

Se dará orden de arranque a la bomba número 4 según el horario prefijado (07h a 17 h), este horario es configurable.

Se regulará la temperatura de impulsión con la sonda T22 mediante la válvula de 3 vías mezcladora según valor de sonda de temperatura ambiente.

Teniendo en cuenta que son radiadores se buscará trabajar con las calderas a baja temperatura (máximo 60°C) con el objetivo de un funcionamiento lo más eficiente posible.

Por tanto la instalación será más eficiente cuanto menor sea la temperatura de impulsión de las calderas en base a la temperatura exterior.



**Software empleado para el control de la instalación:**

Para el mantenimiento, control y estudio para maximizar la eficiencia de la instalación, se emplea un programa informático diseñado para la instalación en cuestión con el que se puede trabajar a distancia. En este programa se pueden establecer todos los valores de consigna según los horarios deseados y se pueden modificar en cualquier momento en función de las necesidades. También te genera las curvas de compensación de las calderas lo que permite y facilita el estudio para alcanzar un funcionamiento más eficiente. Así mismo se puede ver el funcionamiento de todos los equipos en tiempo real y posee un sistema de alarma en el momento que haya un funcionamiento anómalo.

La siguiente imagen muestra la ventana a través de la cual se pueden fijar todas las consignas de temperatura y los horarios de funcionamiento.

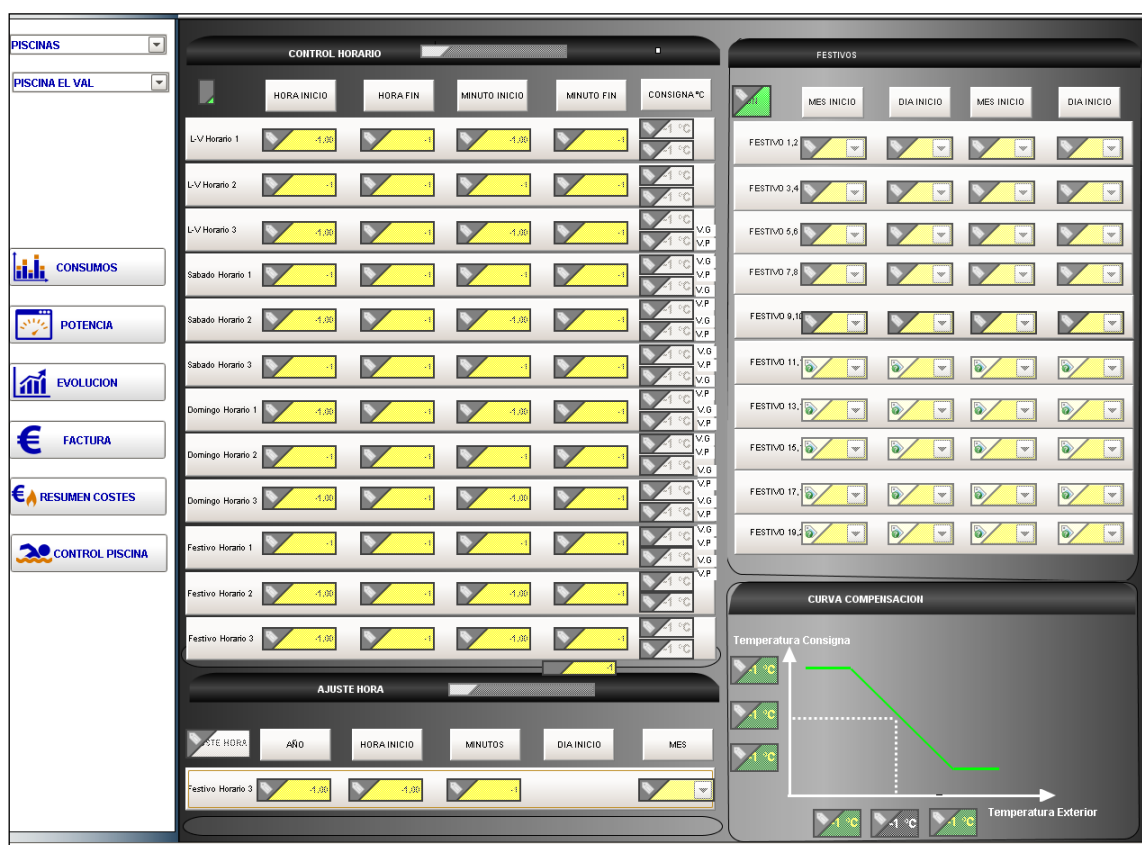


Figura 23 Valores de consigna y horarios de funcionamiento

La figura número 24 muestra los elementos de la instalación sobre los que se puede actuar y controlar su funcionamiento en tiempo real. Esta a su vez permite navegar a través de los diferentes circuitos, por ejemplo, pinchando en el recuadro ACS te muestra el funcionamiento en ese mismo momento del depósito, su temperatura y si se está produciendo aporte de calor en ese instante, igual que para los circuitos de cada piscina. Se puede observar cómo está en funcionamiento una de las calderas y los valores de temperatura de impulsión y retorno de los diferente circuitos.

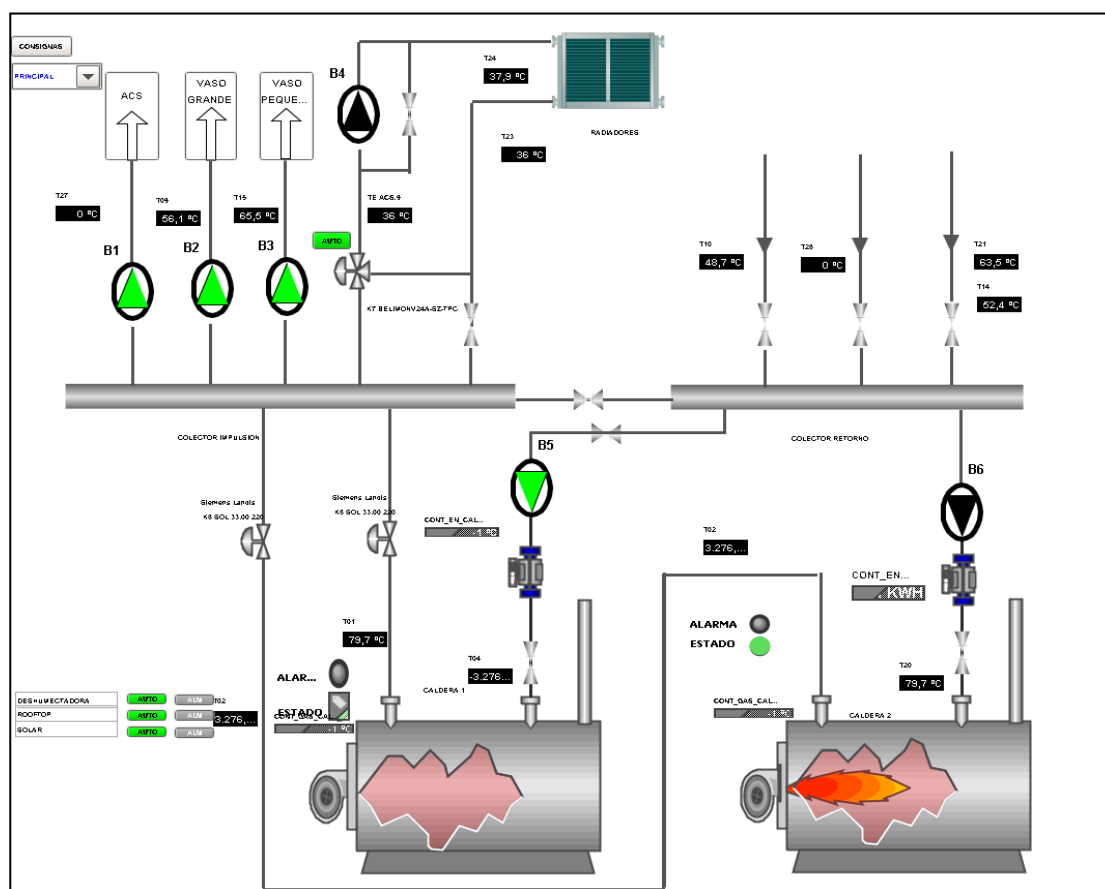


Figura 24 Control de la instalación en tiempo real

En la siguiente imagen se puede observar el funcionamiento del circuito del vaso de entrenamiento lo que permite un seguimiento instantáneo y la maximización de la eficiencia en su funcionamiento. Esto mismo también se muestra para el circuito de la producción de ACS y del vaso de enseñanza.

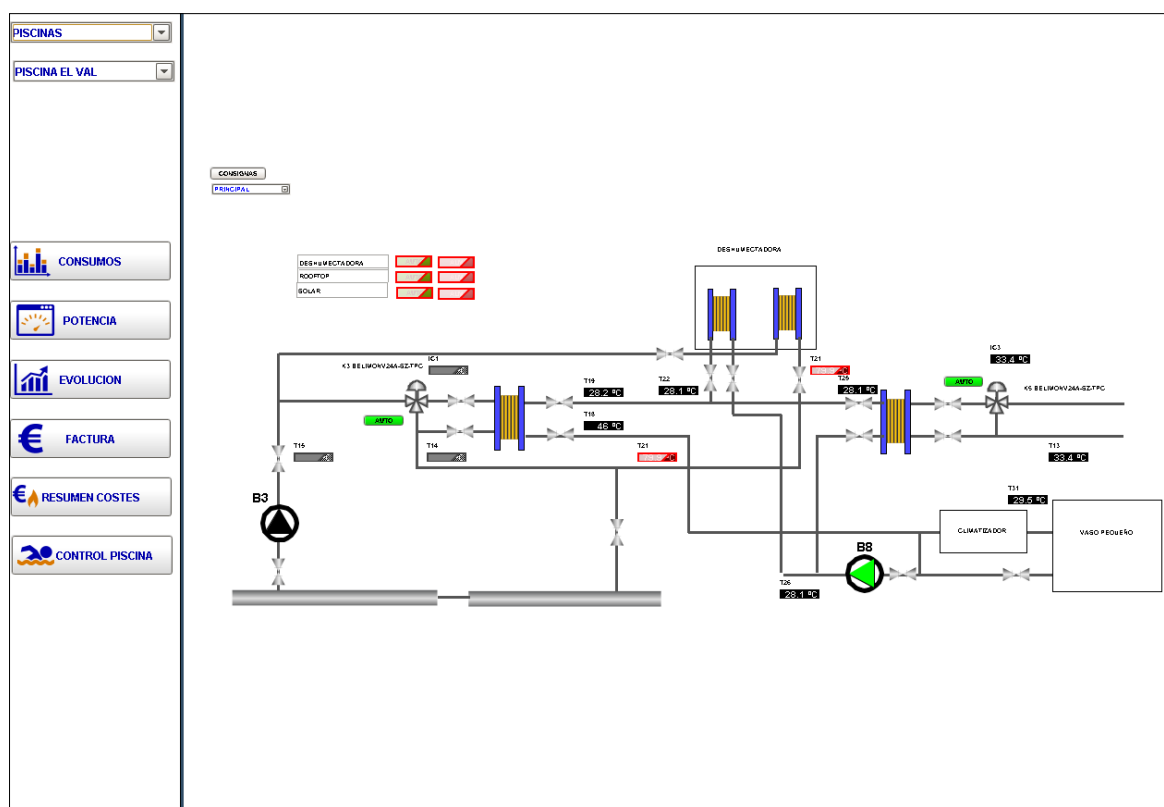


Figura 25 Seguimiento y control del vaso de entrenamiento

## 11. ESTUDIO ECONÓMICO

En última instancia, para completar el proyecto se va a realizar el estudio económico de los cambios realizados en la Ciudad Deportiva EL Val. EL objetivo principal del proyecto siempre ha sido la mejora de la eficiencia energética del edificio, buscando el máximo ahorro posible de combustibles fósiles y con ello reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y su dependencia. Se han seleccionado equipos más eficientes, es decir, que sean capaces de producir más con un menor gasto de combustible. Todo ello requiere de una fuerte inversión inicial y ahora se va a estudiar el beneficio económico que van a producir todos estos cambios de manera que la inversión sea atractiva para el cliente.

El presupuesto desglosado de toda la inversión necesaria queda recogido en el Anexo I, Presupuesto.

### Evaluación del sistema de apoyo

El presente proyecto recoge el estudio de la sustitución de calderas alimentadas por gasóleo por calderas de condensación de gas natural. La reducción de potencia de las calderas y el cambio de combustible ha supuesto una reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> del 53,4%, una reducción muy importante desde el punto de vista de la eficiencia energética.

A continuación se va a estudiar el impacto económico que ha supuesto este cambio.

Se dispone del gasto de gasóleo anual que se dio en la instalación previo a la reforma.

Se produjo un gasto de 1.020.204 kWh para los que se necesitaron unos 100.000 litros de gasóleo, esto supuso un coste anual de 74.694,936€ para el Ayuntamiento.

Las necesidades energéticas anuales de las piscinas junto con la producción de agua caliente sanitaria, según lo estudiado, incluyendo una renovación total de agua de las piscinas al año y las necesidades energéticas por la noche, toman un valor aproximado de 2.900.000 MJ/año, o lo que es lo mismo, 805.600 kWh/año. Sin tener en cuenta la instalación solar vamos a ver qué ahorro económico produce únicamente el cambio de combustible en función de la tarifa actual del Gas Natural.

| Plan Energía Gas  |                                     |   |
|---|-------------------------------------|---|
| Consumos superiores a 50.000 y hasta 100.000 kWh/año<br>(Tarifa 3.3)    | <b>Término fijo:</b><br>54,22 €/mes | <b>Término variable:</b><br>0,047403 €/kWh  |
| Consumos superiores a 100.000 kWh/año y hasta 1 GWh/año<br>(Tarifa 3.4) | <b>Término fijo:</b><br>80,97 €/mes | <b>Término variable:</b><br>0,0442828 €/kWh |

Figura 26 Tarifa Gas Natural, Fuente Gas Natural Fenosa.

En función del valor disponible de kWh anuales observando la tabla anterior, se requiere la Tarifa 3.4

A través del rendimiento de la caldera se puede pasar de  $kWh_{calor}$  a  $kWh_{GN}$  mediante la siguiente ecuación:

$$\eta_{caldera} = \frac{kWh_{calor}}{kWh_{GN}} = 0,95$$

Quedando un valor de:

$$kWh_{GN} = \frac{805\,600}{0,95} = 848.000\, kWh_{GN}/año$$

Por tanto el gasto anual de gas natural sin tener en cuenta la instalación solar sería de:

$$\text{Coste} = (80,97\text{€} / \text{mes} \times 12) + (0,0442828\text{€} / \text{kWh} \times 840.000) = \mathbf{38.169,2\, \text{€}/año}$$

Si se comparan ambos gastos anuales se puede ver el importante ahorro económico que supone el cambio de combustible. Se produce un ahorro de 36.525,7 € anuales, casi un 50%.

## Evaluación de la instalación solar térmica

Si al ahorro anterior se le añade el producido por la instalación solar, teniendo en cuenta que la instalación aportará una energía anual aproximada de 379.000 kWh/año, lo que reduciría a una necesidad de 426.600 kWh/año que tendrán que aportar las calderas, quedando un coste total de gas natural anual de:

$$kWh_{GN} = \frac{426.600}{0,95} = 449.052,63\, kWh_{GN}/año$$

$$\text{Coste} = (80,97\text{€} / \text{mes} \times 12) + (0,0442828\text{€} / \text{kWh} \times 449.052,63) = \mathbf{20.856,95\, \text{€}/año}$$

Como se puede ver, la instalación solar reduce de manera considerable el gasto anual de gas natural, concretamente un 45%, consiguiendo con ello reducir la dependencia energética de la instalación del gas natural adquiriendo una gran importancia la energía solar, gratuita y no contaminante.

## Subvenciones

El Plan Renove de Salas de Calderas de la Comunidad de Madrid, da subvenciones para las reformas de instalaciones térmicas con generadores de calor que no utilicen gas natural como combustible y ubicadas en el ámbito de la Comunidad de Madrid, tras las que se instalen generadores de calor que utilicen gas natural como combustible y estos deberán ser siempre de condensación.

La fórmula que se emplea para obtener el incentivo en función de la potencia de la caldera es la siguiente:

$$\begin{array}{ll} P \leq 200 \text{ kW} & 12 \times P^{1,05} \\ P > 200 \text{ kW} & 120 \times P^{0,62} \end{array}$$

Con la subvención se puede obtener un importe total de 5.437,52€.

## Amortización

Determinar si la instalación es viable desde el punto de vista económico consiste en determinar si es posible recuperar la inversión inicial antes de que finalice la vida útil de la instalación.

Para ello se analiza si el ahorro de combustible generado por la instalación solar permite amortizar la instalación durante su vida útil.

El importe total que supone la realización de todos los cambios propuestos en el presente proyecto asciende a un valor de 285.824,29 €.

Para determinar el momento en el que se recupera la inversión inicial y la instalación solar comienza a dar beneficios se calcula el valor actual neto (VAN).

El VAN de una inversión o un proyecto de inversión mide la rentabilidad absoluta neta que proporciona el proyecto, es decir, mide en el momento inicial del proyecto, el incremento de valor que proporciona a los propietarios una vez descontada la inversión inicial.

La interpretación del valor del VAN se puede resumir de la forma siguiente:

| Valor            | Significado                                   |
|------------------|---|
| $\text{VAN} > 0$ | La inversión produce ganancias                |
| $\text{VAN} < 0$ | La inversión produce pérdidas                 |
| $\text{VAN} = 0$ | La inversión no produce ganancias ni pérdidas |

Mediante la siguiente expresión se relacionan los ingresos y los gastos de la inversión en función del tiempo.

$$VAN = A * \sum \left[ \frac{1+c}{1+i} \right]^t - C_{mto} * \sum \left[ \frac{1+f}{1+i} \right]^t - I_{inicial}$$

Siendo

- A, Ahorro de combustible: transformación de la energía útil aportada por el sistema solar y las calderas en referencia al consumo de combustible de gasóleo inicial.
- $I_{inicial}$ , Inversión inicial correspondiente a un importe de 285.824,29 € con IVA reduciendo la misma con el importe de la subvención 5.437,52€.
- $C_{mto}$ , Coste de mantenimiento: se estima como un 1% anual del coste inicial, 2.858,25 €/año.
- c, Incremento del precio del combustible. Dada la volatilidad del precio del gas natural se opta por considerar la variación realizada en los últimos años 5,5%.
- i es la tasa de interés 6%.

El interés bancario es la ganancia que obtiene el banco por prestar capital. En sentido estricto, es el precio de utilización del dinero por unidad de tiempo. La tasa de interés (el tanto por ciento) se rige por la ley de la oferta y la demanda y diferentes índices económicos.

- f es el valor de la inflación 0%

La inflación es la situación económica en la que la demanda es superior a la oferta, lo que desencadena un alza generalizada de los precios y una depresión de la moneda.

La inflación se mide por el índice de precios al consumo (IPC). A fecha de la realización del análisis económico de este capítulo se estima un valor del 0%.

Evidentemente el valor del VAN de los años iniciales será negativo, lo que significa que aún no se ha amortizado la inversión. Llegará un instante en que se anule, a ese valor "t" se le denomina tiempo de retorno de la inversión. A partir de ese momento la instalación estará amortizada y en los sucesivos años todo el ahorro producido será el beneficio neto producido por la misma. Todo esto determinará el Pay-Back (PB), que es la medida de la rapidez con la que se recupera la inversión (período que tarda en recuperarse la inversión inicial a través de los flujos de caja generados por el proyecto).

Analizando para la inversión requerida en el presente proyecto se obtiene:

| Año | VAN           |
|-----|---------------|
| 0   | -229.501,02€  |
| 1   | -178.706,99 € |
| 2   | -128.012,65 € |
| 3   | -77.425,43 €  |
| 4   | -26.952,32 €  |
| 5   | 23.400,18 €   |
| 6   | 73.625,99 €   |
| 7   | 123.719,44 €  |
| 8   | 173.675,24 €  |

Tabla 11.1 Cálculo del VAN

Se puede ver que se recuperará la inversión en el quinto año de funcionamiento de los nuevos equipos. Por tanto se trata de un proyecto muy rentable.



## 12. CONCLUSIONES

Una vez realizado el estudio completo del proyecto para el suministro energético de la Ciudad Deportiva El Val, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- Para el mantenimiento de las piscinas se requiere una potencia de 112 kW y 206,4 kW para la puesta a régimen de las mismas para lo que se ha considerado un tiempo de tres días y para la generación de agua caliente sanitaria se precisan 115kW, que serán suficientes para cubrir la demanda de 600 personas diarias.
- Para cubrir la demanda energética del edificio se va a emplear un sistema solar térmico y un sistema de apoyo compuesto por calderas de condensación de gas natural.
- El sistema solar se compone de 150 captadores solares que darán servicio a la climatización de las piscinas y a la producción de agua caliente sanitaria cubriendo la contribución solar mínima exigida por el Código Técnico de la Edificación, CTE. El sistema diseñado permitirá una reducción de la necesidad energética aportada por las calderas de unos 379.000 kWh/año.
- Desde el punto de vista ambiental, la instalación solar supondrá una reducción de 80 Tn de emisiones de CO<sub>2</sub> anuales.
- El sistema de apoyo que completa a la instalación solar estará formado por dos calderas de 175 kW de potencia nominal que estarán alimentadas por gas natural sustituyendo los anteriores equipos alimentados por gasóleo. Esto supondrá una reducción de 53,4% de emisiones con respecto a la instalación anterior de gasóleo.
- Se ha estimado el ahorro económico que se va a producir anualmente gracias a la nueva instalación solar y a las nuevas calderas de gas natural, unos 53.800 € anuales lo que hace que sea un proyecto muy atractivo a pesar de la fuerte inversión inicial.
- El presupuesto total para las reformas indicadas en el proyecto asciende a 285.824,29 €. El estudio económico realizado sobre la misma establece que en 5 años la inversión económica realizada para la instalación solar estará amortizada, luego el proyecto es rentable

Por todo ello, se concluye con que el proyecto realizado cumple con las expectativas tanto económicas como ambientales y cumpliendo toda la normativa vigente. Se ha llegado a obtener un edificio eficiente energéticamente, rentable, sostenible y que reduce considerablemente el impacto ambiental que se alargará hasta el final de la vida útil de la instalación.

## 13. NORMATIVA Y BIBLIOGRAFÍA

En la redacción del presente proyecto se han tenido en cuenta las siguientes normativas y legislaciones:

- [1] Código Técnico de la Edificación (CTE), aprobado por el Real Decreto 314/2006, del 17 de marzo de 2006. BOE 28 de marzo del 2006.
- [2] Reglamentación de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE).
- [3] Norma UNE\_100001\_2001, Marzo 2001. Climatización Condiciones climáticas para proyectos.
- [4] “Guía técnica Condiciones climáticas exteriores de proyecto” publicado en 2010 por IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía).
- [5] Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura. Instalaciones de Energía Solar Térmica (PET-REV-Octubre 2002), publicado en 2009 por el IDAE.
- [6] “Datos trihorarios de Madrid” Publicación realizada por ATECYR centro
- [7] Catálogo de elementos constructivos del CTE, CAT-ECv6.3. Marzo 2010.
- [8] Norma DIN 1946. Número de renovaciones a la hora aconsejadas para cada tipo de establecimiento o local.
- [9] Real Decreto 865/2003, Criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis.
- [10] Documento Básico "DB HE Ahorro de Energía" Exigencia básica HE 4: Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.
- [11] Documento Básico HS: Salubridad- Apartado HS4: Suministro de agua.
- [12] Norma UNE 60601/2000, “Instalación de calderas a gas para calefacción y/o agua caliente de consumo calorífico nominal (potencia nominal) superior a 70kW”.
- [13] “Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT” publicado en 2012 por la Agencia Estatal de Meteorología.
- [14] Sistemas de aprovechamiento térmico (CENSOLAR).
- [15] Normativa UNE de aplicación.
- [16] Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE).
- [17] Reglamento de recipientes a presión (RAP).
- [18] Normas básicas para las instalaciones interiores de suministro de agua (NIA).

# ANEXO I.-PRESUPUESTO

| BOMBA DESHUMECTADORA             |     |  |          |                  |                    |
|----------------------------------|-----|--|----------|------------------|--------------------|
| Capítulo                         | Ud. | Descripción de la unidad                                     | Cantidad | IMPORTE          |                    |
|                                  |     |  |          | Unitario         | Total              |
| CAP 1.-                          |     | <b>AQUAIR BCP-360</b>  |          | <b>37.303,72</b> | <b>37.303,72 €</b> |
| 01.01                            | Ud. | Modulo Cajón Mezcla 3 compuertas                             | 1        |                  |                    |
| 01.02                            | Ud. | Regulación: Electrónica PCOC TERMO-HIGRO-ENTALPICA           | 1        |                  |                    |
| 01.03                            | Ud. | Modulo Filtros F6+F8   | 1        |                  |                    |
| 01.04                            | Ud. | Condensación Remota: DUAL                                    | 1        |                  |                    |
| 01.05                            | Ud. | Refrigerante: R-410A   | 1        |                  |                    |
| 01.06                            | Ud. | Detección Filtros Sucios                                     | 1        |                  |                    |
| 01.07                            | Ud. | BAT. AP. AGUA Y VAL TRES VIAS :<br>BAT APY AG CAL M INTERIOR | 1        |                  |                    |
| 01.08                            | Ud. | Caudal máximo  | 1        |                  |                    |
| 01.09                            | Ud. | Tarjeta de Comunicación:<br>TARJETA SERIAL RS485             | 1        |                  |                    |
| 01.10                            | Ud. | Circuito Recuperación Frigorífica Aire de Extracción         | 1        |                  |                    |
| 01.11                            | Ud. | Mando Privado Local:<br>MANDO PRIVADO LOCAL PCOC             | 1        |                  |                    |
| 01.12                            | Ud. | Incluido 1 Tejadillo para Instalación Intemperie             | 1        |                  |                    |
| 01.13                            | Ud. | PLUG FAN en IMPULSIÓN  | 1        |                  |                    |
| 01.14                            | Ud. | Opcionales incluidos en el precio de la máquina              | 1        |                  |                    |
| TOTAL CAPÍTULO 1                 |     |  |          |                  | <b>37.303,72 €</b> |
| CAP 2.-                          | Ud. | <b>BATERÍA DE AGUA CALIENTE DE 2 FILAS PARA BCP-360</b>      | 1        | <b>2.320,07</b>  | <b>2.320,07 €</b>  |
| 02.01                            |     | Potencia: 127.3 kW (Agua 60/50 °C)                           |          |                  |                    |
| TOTAL CAPÍTULO 2                 |     |  |          |                  | <b>2.320,07 €</b>  |
| IMPORTE DE PRESUPUESTO CON I.V.A |     |  |          |                  | <b>39.623,79 €</b> |

| INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA         |     |  |          |          |              |
|-----------------------------------|-----|--|----------|----------|--------------|
| Capítulo                          | Ud. | Descripción de la unidad   | Cantidad | IMPORTE  |              |
|                                   |     |  |          | Unitario | Total        |
| CAP 1.- CAPTADORES SOLARES        |     |  |          |          |              |
| 01.01                             | Ud. | Captador Solar <b>Kaplan S 2.6 V</b> de la marca <b>ACV</b> .<br>Captador solar vertical:<br>-Superficie total: 2,549 m²<br>-Apertura óptica: 2,288 m²<br>Equipado con:<br>-Cubierta plana de cristal templado e:4 mm<br>-Absorbedor de Cu aleteado con revestimiento TINOX<br>-Aislamiento en lana de roca de e:40mm./d:70Kg/Cm², con carcasa de Al extrusionado.<br><br>Rendimiento óptico 80,7 %;<br>Coeficiente de pérdidas K1: 3,7W/m²<br>Coeficiente pérdidas K2: 0,0111 W/m²<br>Montaje vertical sobre cubierta plana o inclinada | 150      | 775      | 116.250,0    |
| 01.02                             | Ud. | Codo H compresión de Latón 1" diam 22  | 60       | 3        | 180,0        |
| 01.03                             | Ud. | Codo de compresión de Latón 1" diam 22   | 60       | 3        | 180,0        |
| 01.04                             | Ud. | Tapón 1"M  | 60       | 2        | 120,0        |
| 01.05                             | Ud. | Racor recto de compresión  | 220      | 3        | 686,4        |
| 01.06                             | Ud. | Kit soportación de cubierta plana para dos captadores Kaplan S2.6 V de la marca ACV.   | 32       | 325      | 10.400,0     |
| 01.07                             | Ud. | Kit ampliación dos captadores Kaplan S 2.6 V para cubierta plana de la marca ACV.  | 45       | 250      | 11.250,0     |
| 01.08                             | Ud. | <b>Kit Drain-Back ACV.</b><br>-Kit compuesto por 2 bombas de circulación Drain-Back 4.000 l/h<br>-Regulador de caudal<br>-Manómetro<br>-3 vasos drenantes en acero inoxidable de 60 l<br>-Centralita de regulación RS2 Combi.<br>-Posición mural.  | 1        | 6.350    | 6.350,0      |
| 01.09                             | Ud. | Puesta en marcha de la regulación solar RS2 combi.   | 1        | 120      | 120,0        |
| 01.10                             | Ud. | Bidón 20 L. anticongelante a base de Mono Propileno Glicol e inhibidores de corrosión, NET GEL SANIT de la marca ACV.  | 5        | 100      | 500,0        |
| TOTAL CAPÍTULO 1                  |     |  |          |          | 146.036,40 € |
| CAP 2.- INTERACUMULADORES SOLARES |     |  |          |          |              |

|                                  |     |  |   |        |              |
|----------------------------------|-----|--|---|--------|--------------|
| 02.01                            | Ud. | Interacumulador MXV4000 SB/SSB de la marca LAPESA.<br>Interacumulador de 4.000 litros vitrificado<br>Serpentín de intercambio de 8,4 m <sup>2</sup><br>Boca de inspección de 400 mm<br>Aislamiento térmico de espuma rígida de poliuretano en molde.<br>Presión máxima del acumulador 8 bar.<br>Presión máxima del serpentín 25 bar.<br>Temperatura máxima de trabajo 90°C.<br>Peso en vacío 665 Kg. | 2 | 15.885 | 31.770,0     |
| 02.02                            | Ud. | Válvula de seguridad de ACS tarada a 7 bar de 1 1/2"   | 2 | 40     | 80,0         |
| TOTAL CAPÍTULO 2                 |     |  |   |        | 31.850,00 €  |
|                                  |     |  |   |        |              |
| CAP 3.-                          |     | ACUMULADOR ACS   |   |        |              |
| 03.01                            |     | Acumulador de ACS MVV2500RB de la marca LAPESA   | 1 | 4.491  | 4.491,0      |
|                                  |     | Acumulador de 2.500 litros vitrificado<br>Aislamiento térmico de espuma rígida de poliuretano inyectada en molde.<br>Presión máxima del acumulador 8 bar.<br>Temperatura máxima de trabajo 90°C.<br>Peso en vacío 635 Kg.  |   |        |              |
| 03.02                            |     | Válvula de seguridad de ACS tarada a 7 bar de 1 1/2"   | 1 | 40     | 40,0         |
| TOTAL CAPÍTULO 3                 |     |  |   |        | 4.531,00 €   |
|                                  |     |  |   |        |              |
| IMPORTE DE PRESUPUESTO CON I.V.A |     |  |   |        | 182.417,40 € |

| INSTALACIÓN DE APOYO CON CALDERAS |     |   |          |          |           |
|-----------------------------------|-----|---|----------|----------|-----------|
| Capítulo                          | Ud. | Descripción de la unidad  | Cantidad | IMPORTE  |           |
|                                   |     |   |          | Unitario | Total     |
| CAP 1.- INSTALACIÓN TÉRMICA       |     |   |          |          |           |
| 01.01                             | Ud. | <b>CALDERAS VIESSMANN</b>   | 2        | 5.125,0  | 10.250,00 |
|                                   |     | VIESSMANN Vitocrossal 200 CM2-186kW<br>Caldera de condensación a gas en acero inoxidable Inox-Crossal de alta aleación con quemador de radiación MatriX. Cámara de combustión en acero inoxidable refrigerada por agua. Cuadro de control Vitotronic. Aislamiento térmico de alta eficiencia Según EN 297, EN 303, EN 483 y EN 677, con homologación CE.<br><br>Potencia térmica útil<br>con 50/30 °C: 186 kW<br>con 80/60 °C: 170 Kw |          |          |           |
| 01.02                             | Ud. | <b>CHIMENEAS</b>  | 2        | 1.985,0  | 3.969,9   |
|                                   |     | Suministro y montaje completo de nuevas chimeneas modulares desmontables de doble pared en acero inoxidable de diámetro necesario según potencia de la nueva caldera de condensación, con aislamiento interior de lana de roca y junta de fibra cerámica, incluidas abrazaderas, anclajes intermedios y de carga en acero inoxidable.   |          |          |           |
| 01.03                             | Ud. | <b>PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS</b>  | 1        | 132,8    | 132,8     |
|                                   |     | Suministro e instalación del sistema de detección de incendios. Incluye:<br>- Centralita de detección de incendios.<br>- 2 unidades detectoras de incendios.  |          |          |           |
| 01.04                             | Ud. | <b>ADECUACIÓN HIDRÁULICA</b>  | 1        | 909,1    | 909,1     |
|                                   |     | Reforma de sala de calderas para consecución de certificado EICI de transformación de gasoil a gas. Incluye:<br>- Reforma de colectores si fuera necesario.<br>- Instalación de contador<br>- Instalación de valvulería de corte, regulación y seguridad.<br>- Instalación de picajes y colocación de sondas.<br>- Instalación de drenajes de condensación y válvulas de seguridad a desagües.  |          |          |           |
| 01.05                             | Ud. | <b>REFORMA DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA</b>   | 1        | 1.222,2  | 1.222,2   |

|                  |     |   |     |         |             |
|------------------|-----|---|-----|---------|-------------|
|                  |     | Reforma de sala de calderas para concesión de certificado EICI de transformación de gasoil a gas natural. Incluye:<br>- Reforma de cuadros eléctricos según REBT.<br>- Cableado y canalizaciones a elementos terminales.<br>- Reforma de elementos de alumbrado y alumbrado de emergencia, de tipo estanco.<br>- Instalación tipo paro/disparo.<br>- Instalación de sistema de detección de incendio.   |     |         |             |
| 01.06            | Ud. | <b>AYUDAS DE OBRA CIVIL Y ACABADOS</b>  | 1   | 1.376,4 | 1.376,4     |
|                  |     | Reformas de obra civil para adecuación de las salas de calderas a gas, según requisitos legales OCA. Incluye:<br>-Desmontaje de puerta y colocación de puertas EI2-C5 allí donde especifique el CTE.<br>-Demolición de vieja bancada y construcción de una nueva.<br>-Apertura de ventilaciones según UNE 60601.<br>-Suministro y colocación de rejillas tramex en las ventilaciones.<br>-Fabricación de desagüe.<br>-Apertura y cierre de huecos de chimenea.<br>-Ayudas a albañilería.<br>-Pintura. |     |         |             |
| TOTAL CAPÍTULO 1 |     |   |     |         | 17.860,30 € |
|                  |     |   |     |         |             |
| CAP 2.-          |     | INSTALACIÓN DE GAS NATURAL  |     |         |             |
| 02.01            | Ud. | <b>ARMARIO DE REGULACIÓN A-50</b>   | 1   | 550     | 550         |
|                  |     | Suministro, instalación y montaje de armario de regulación-medición tipo A-50 homologado con ventilación superior e inferior, para salto de presión de MPB a MPA  |     |         |             |
| 02.01            | ML  | <b>TUBERIA DE POLIETILENO PE 40 MEDIA PRESIÓN</b>   | 120 | 10,78   | 1293,6      |
|                  |     | Tubería de polietileno SDR11 o similar, cumpliendo el reglamento de "Redes de Combustibles Gaseosos", de diámetro exterior 75 mm, para instalaciones receptoras, enterrada, incluso pruebas de presión.   |     |         |             |
|                  | ML  | <b>ZANJEADO</b>   | 120 | 45,51   | 5461,2      |
|                  |     | 0,6 m de profundidad siguiendo tubería de polietileno y posterior tapado y acabado según condiciones previas.   |     |         |             |
| 02.02            | ML  | <b>TUBERIA DE DE ACERO 2" Sin envainar en el interior de la sala de calderas para crear pulmón de gas</b>   | 18  | 35,4    | 637,2       |



|   |     |  |    |       |                    |
|---|-----|--|----|-------|--------------------|
|   |     | Tubería de acero sin soldadura según UNE 19046 de 2 " de diámetro para el montaje, según normativa, incluso parte proporcional de accesorios, conexión a aparatos y soportes con pintura de protección y señalización. Incluye parte proporcional de soportes y fijaciones, así como todos los elementos y accesorios para un correcto montaje y funcionamiento. |    |       |                    |
| 02.03                                   | ML  | <b>TUBERIA DE ACERO 1 1/4"</b>   | 1  | 15,85 | 15,85              |
|   |     | Tubería de acero sin soldadura según UNE 19046 de 1 1/4" de diámetro con vaina para el montaje.  |    |       |                    |
| 02.04                                   | ML  | <b>TUBERIA DE ACERO 1 1/2"</b>   | 44 | 16,78 | 738,32             |
|   |     | Tubería de acero sin soldadura según UNE 19046 de 1 1/2" de diámetro con vaina para el montaje.  |    |       |                    |
| 02.05                                   | PA  | <b>CONTADOR DE GAS G-25</b>  | 1  | 687,6 | 687,6              |
|   |     | Suministro, instalación y montaje de contador de gas G-25, de pistones rotativos, para un caudal máximo de 40 m3/h. lectura a 220 mmcd, realizado con acero DIN 2440 sin soldadura, con válvula de esfera de corte general para instalaciones receptoras, y p/p de accesorios.   |    |       |                    |
| 02.06                                   | Ud. | <b>VÁLVULA HARD PARA TUBERÍA DE ACERO DE 2"</b>  | 1  | 262,5 | 262,5              |
|   |     | Ud. Válvula HARD, JC o similar para un diámetro de 2".   |    |       |                    |
| 02.07                                   | Ud. | <b>ELECTROVÁLVULA DE CORTE REARME AUTOMÁTICO 2"</b>  | 1  | 367,5 | 367,5              |
|   |     | Suministro, instalación y montaje de electro válvula de corte marca Honeywell o similar de rearme automático   |    |       |                    |
| 02.08                                   | Ud. | <b>DETECCIÓN DE GAS</b>  | 1  | 980   | 980                |
|   |     | Suministro y montaje de sistema de detección de fugas de gas compuesto por central de detección, 2 detectores de fuga de gas.  |    |       |                    |
| <b>TOTAL CAPÍTULO 2</b>                 |     |  |    |       | <b>10.993,77 €</b> |
| <b>IMPORTE DE PRESUPUESTO</b>           |     |  |    |       | <b>28.854,07 €</b> |
| <b>IMPORTE DE PRESUPUESTO CON I.V.A</b> |     |  |    |       | <b>34.913,42 €</b> |

| CONTROL CON SISTEMA PLC DE SIEMENS      |     |  |          |                    |          |
|---|-----|--|----------|--------------------|----------|
| Capítulo                                | Ud. | Descripción de la unidad   | Cantidad | IMPORTE            |          |
|   |     |  |          | Unitario           | Total    |
| <b>01.01</b>                            | Ud. | Suministro y montaje de sonda Pt-100, clase A, 3 hilos, vaina acero Inox. 6x100mm, con cuello 80mm, cab. DIN B fijado c/tornillos, rosca 1/2" GM, elemento intercambiable  | 33       | 61,27              | 2.021,91 |
| <b>01.02</b>                            | Ud. | Suministro y montaje de cuadro de control, de dimensiones aproximadas 2000x800x400. Incluye el suministro y montaje de hardware SIEMENS y DL GPRS necesario para el control de equipos indicados en el esquema de principio facilitado.<br>El cuadro incluirá protecciones eléctricas necesarias, fuente de alimentación 24VDC 10A, transformador 24 VAC 150VA, bornas relé Phoenix, bornas fusibles, bornas dobles y bornas simples. Se suministrará en obra totalmente cableado y probado en taller desde bornes a terminales de conexión rápida de los módulos del PLC. | 1        | 7.029,45           | 7.029,45 |
| <b>01.03</b>                            | Ud. | Suministro y montaje de instalación eléctrica correspondiente a la canalización, cableado, y conexionado del material de control referido éste a los controladores, cuadros de control y material de campo ofertados respectivamente.<br>Todas las señales serán llevadas a bornas, los cableados estarán etiquetados en origen y destino.   | 1        | 6.372,58           | 6.372,58 |
| <b>01.04</b>                            | Ud. | Ingeniería de sistema de Gestión Centralizada e instalaciones de control incluyendo:<br>- Ingeniería del sistema: Creación de documentación técnica, comprobación de equipos, ajuste de lazos de regulación y comprobación de señales.<br>- Ingeniería de software: Creación de gráficos, plan de alarmas necesarios y curvas de tendencias de todas las variables.  | 1        | 2.573,54           | 2.573,54 |
| <b>IMPORTE DE PRESUPUESTO CON I.V.A</b> |     |  |          | <b>17.997,48 €</b> |          |


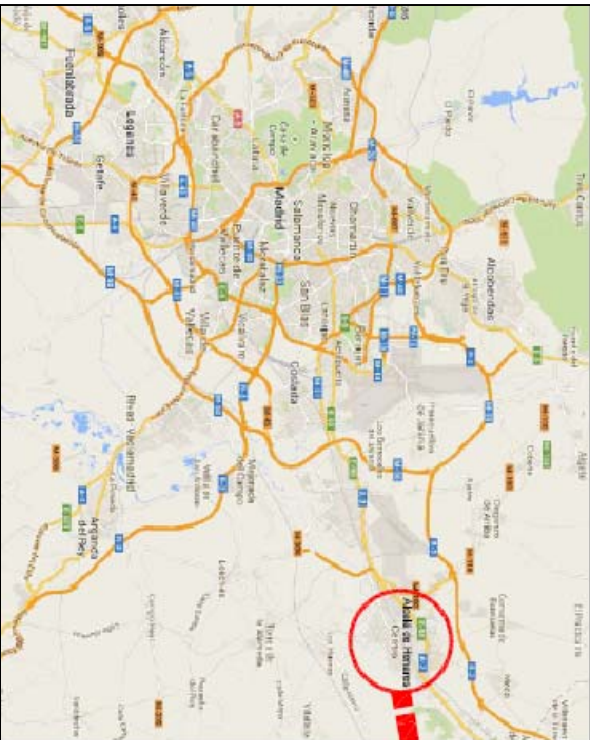
| RESUMEN PRESUPUESTOS                   |                     |
|--|---------------------|
| BOMBA DESHUMECTADORA                   | 39.623,79 €         |
| INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA              | 182.417,40 €        |
| INSTALACIÓN DE APOYO CON CALDERAS      | 34.913,42 €         |
| SISTEMA DE CONTROL                     | 17.997,48 €         |
| BOMBAS INSTALACIÓN HIDRÁULICA          | 6.754,00 €          |
| INTERCAMBIADORES INSTALACIÓN HIDRÚLICA | 4.118,20 €          |
| <b>PRESUPUESTO TOTAL</b>               | <b>285.824,29 €</b> |

## ANEXO II.-PLANOS

- 01- SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO
- 02- SALA DE CALDERAS
- 03- LOCALIZACIÓN Y ACOMETIDA DE GAS
- 04- ISOMÉTRICO
- 05- ESQUEMA DE PRINCIPIO DE INSTALACIÓN
- 06- INSTALACIÓN SOLAR EN CUBIERTA

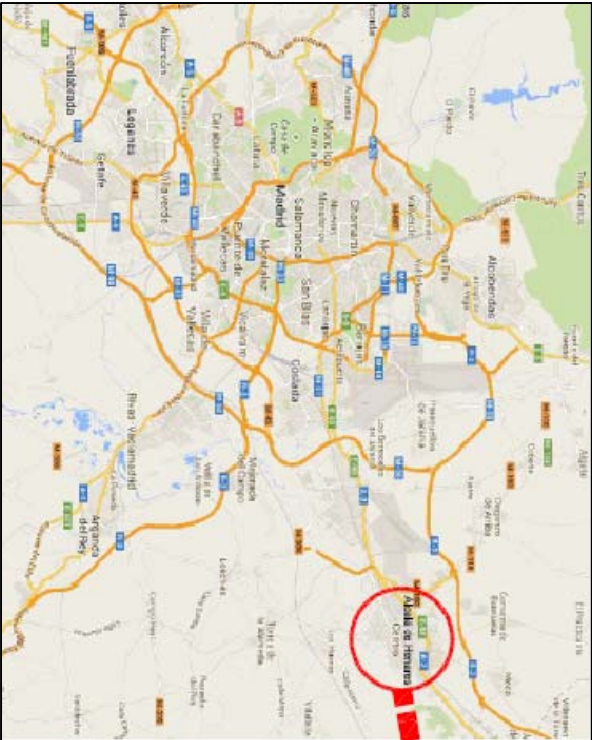
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |   |
| A |   |   |   |   |   |   |   |   | A |
| B |   |   |   |   |   |   |   |   | B |
| C |   |   |   |   |   |   |   |   | C |
| D |   |   |   |   |   |   |   |   | D |
| E |   |   |   |   |   |   |   |   | E |
| F |   |   |   |   |   |   |   |   | F |

|                                  |  |         |  |          |  |  |  |  |  |  |  |                       |  |
|----------------------------------|--|---------|--|----------|--|--|--|--|--|--|--|-----------------------|--|
| UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID |  |         |  |          |  |  |  |  |  | IDIOMA : ES  |  | PROYECTO N° :         |  |
| INGENIERÍA INDUSTRIAL            |  |         |  |          |  |  |  |  |  |  |  |                       |  |
| A                                |  | EDICIÓN |  |          |  |  |  |  |  | OBRA : CIUDAD DEPORTIVA EL VAL                       |  | FORMATO PLANO N° : A2 |  |
| REV.                             |  |         |  | CONCEPTO |  |  |  |  |  | Avenida Virgen del Val 9, Alcalá de Henares, Madrid. |  | ESCALA : s/e          |  |
| 1                                |  |         |  |          |  |  |  |  |  |  |  | HOLLA N° 01 DE 01     |  |
| 2                                |  |         |  |          |  |  |  |  |  |  |  |                       |  |
| 3                                |  |         |  |          |  |  |  |  |  |  |  |                       |  |
| 4                                |  |         |  |          |  |  |  |  |  |  |  |                       |  |
| 5                                |  |         |  |          |  |  |  |  |  |  |  |                       |  |
| 6                                |  |         |  |          |  |  |  |  |  |  |  |                       |  |
| 7                                |  |         |  |          |  |  |  |  |  |  |  |                       |  |
| 8                                |  |         |  |          |  |  |  |  |  |  |  |                       |  |

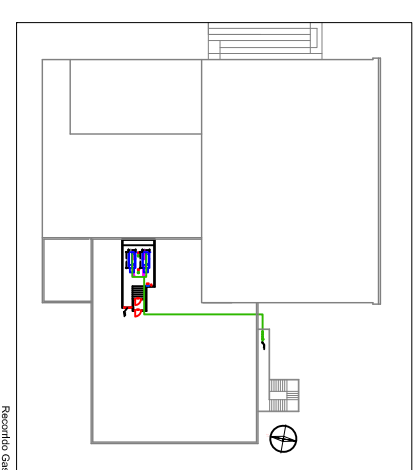
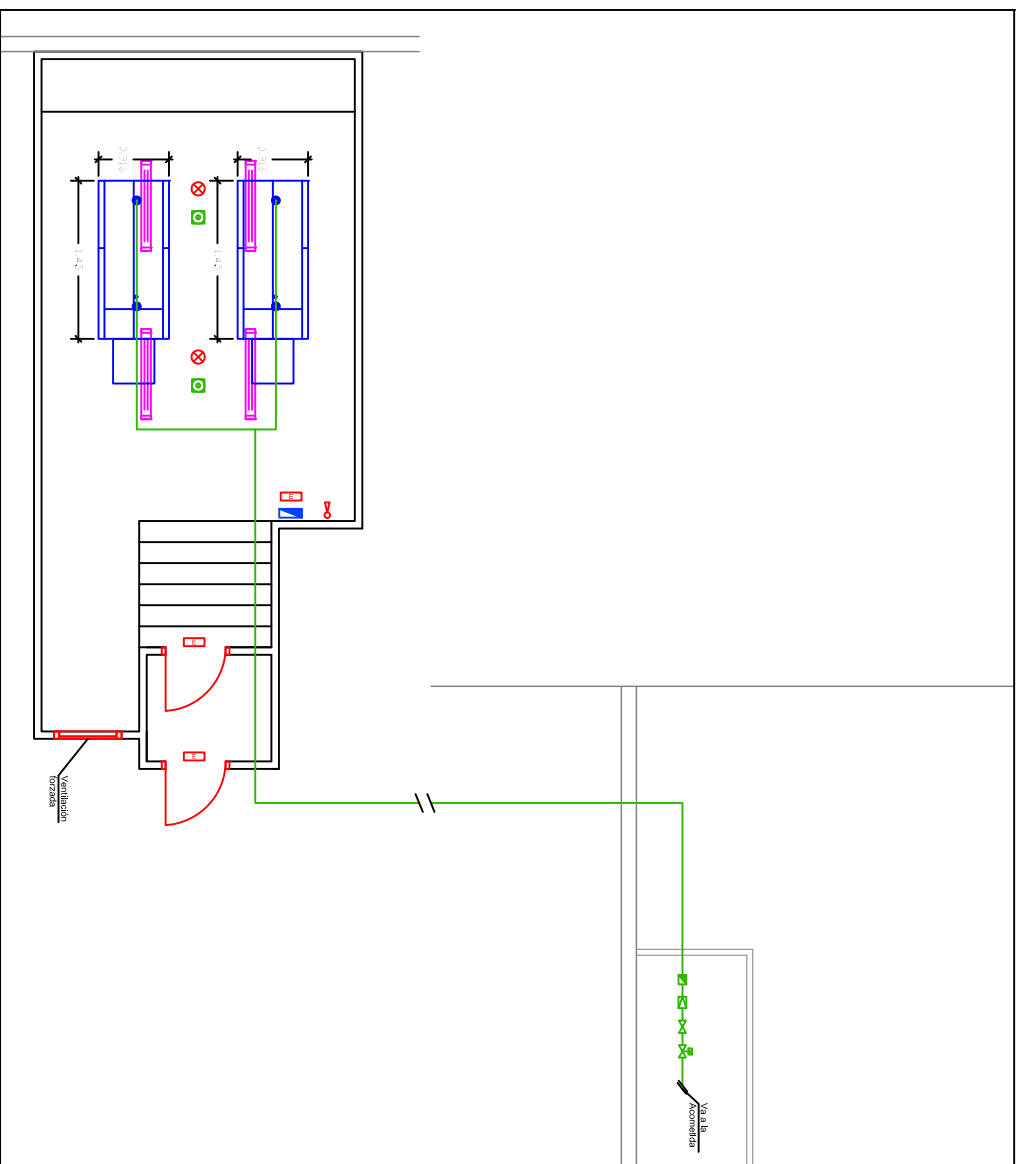













CIUDAD DEPORTIVA EL VAL


Avenida Virgen del Val 9, Alcalá de Henares, Madrid.



CIUDAD DEPORTIVA EL VAL  
Avenida Virgen del Val 9, Alcalá de Henares, Madrid.



| SÍMBOLO   | DESCRIPCIÓN                  |
|---|------------------------------|
|  | SUMIDERO                     |
|  | PANTALLA ELÉCTRICA           |
|  | LUZ DE EMERGENCIA ESTANCA    |
|  | CUANDO ELÉCTRICO             |
|  | INTERRUPTOR GENERAL DE CORTE |
|  | ELECTROVALVULA GAS           |
|  | LLAVE GAS                    |
|  | CONMUTADOR GAS               |
|  | EXTINTOR                     |
|  | DETECTOR DE INCENDIOS        |
|  | DETECTOR DE GAS              |

| REV.             | CONCEPTO     | DIBUJADO POR   | REVISADO POR     | APROBADO POR  | VERIFICADO POR |
|------------------|--------------|----------------|------------------|---|----------------|
| PROYECTO N° :    | INDICA :     | ES             | ESCALA :<br>1/50 |  |                |
| TÍTULO :         | DIBUJADO POR |                |                  | 07-08-15  |                |
| SALA DE CALDERAS |              | REVISADO POR   |                  |   |                |
|                  |              | APROBADO POR   |                  |   |                |
|                  |              | VERIFICADO POR |                  |   |                |

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID  
INGENIERÍA INDUSTRIAL

OBRA :  
INSTALACIÓN RECEPTORA DE GAS SALA DE  
CALDERAS EN CIUDAD DEPORTIVA EL VAL

FORMATO : PLANO N° :  
A2

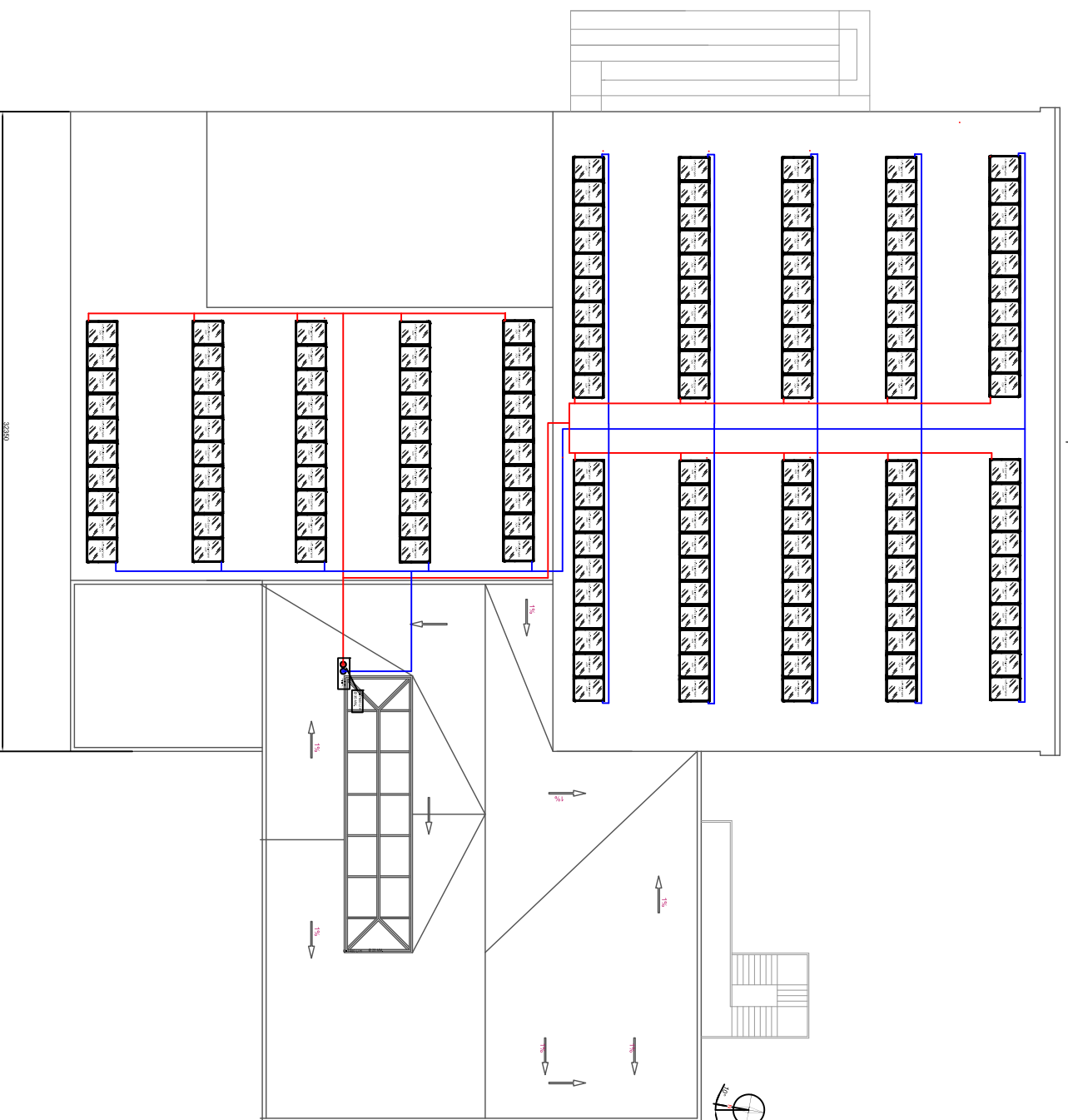
02









[illegible]

# **ANEXO III.- DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DE EQUIPOS**

## BOMBA DESHUMECTADORA

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

| AquairBCP  |   | 360  |
|--|---|--|
| Potencias circuitos principales + recuperación aire extracción | Potencia deshumidificación ① (kg/h)                   | 73,5   |
|  | Potencia calorífica útil en aire / agua ② (kW)        | 26,1 / 43,5  |
|  | Potencia calorífica aire recuperación extracción (kW) | 43,3   |
|  | Potencia absorbida ③ (kW)                             | 27,6   |
|  | Rendimiento termodinámico útil                        | 5,9  |
| Circuito de aire: Ventilador impulsión                         | Caudal aire nominal (m3/h)                            | 24.000   |
|  | Presión estática disponible (mm.c.a.)                 | 25   |
|  | Tipo  | Plug Fan EC  |
|  | Número / Diámetro (mm.)                               | 3 / 500  |
|  | Potencia motor (kW)                                   | 3 x 5,5  |
|  | Potencia absorbida (kW)                               | 6,9  |
|  | Velocidad máxima (r.p.m.)                             | 3 x 2.220  |
| Circuito de aire: Ventilador retorno                           | Caudal aire nominal (m3/h)                            | 24.000   |
|  | Presión estática disponible (mm.c.a.)                 | 15   |
|  | Tipo  | Plug Fan EC  |
|  | Número / Diámetro (mm.)                               | 2 / 560  |
|  | Potencia motor (kW)                                   | 2 x 4,7  |
|  | Potencia absorbida (kW)                               | 3,74   |
|  | Velocidad máxima (r.p.m.)                             | 3 x 1.763  |
| Condensador de agua  | Caudal agua nominal (m3/h)                            | 7,5  |
|  | Pérdida de carga (m.c.a.)                             | 5,1  |
|  | Conexiones hidráulicas                                | 1 1/4" M   |
| Batería de apoyo de agua caliente (opcional)                   | Potencia calorífica Bat. 2 filas ④ (kW)               | 147  |
|  | Caudal agua nominal (m3/h)                            | 7,4  |
|  | Pérdida de carga (m.c.a.)                             | 2,6  |
|  | Conexiones hidráulicas                                | 2 1/8"   |
| Compresor  | Tipo  | Scroll   |
|  | Número compresores                                    | 4  |
|  | Nro. Circuitos Rec. Calor Condensación Aire/agua      | 2/1  |
|  | Nro. Circuitos Rec. Calor Aire extracción             | 1  |
|  | Tipo aceite   | Copeland 3MAF 32cST, Danfoss POE 160SZ, ICI Emkarate RL 32CF, Mobil EAL Artic 22CC |
|  | Volumen aceite (l)                                    | 4 x 3,3  |
| Características eléctricas                                     | Tensión de red  | 400 V / III ph / 50 Hz (±5%)   |
|  | Acometida   | 3 Hilos + Tierra + Neutro  |
| Intensidad máxima absorbida                                    | Compresor(es) (A)                                     | 82,0   |
|  | Ventilador impulsión (A)                              | 24,9   |
|  | Ventilador retorno (A)                                | 14,6   |
|  | Control (A)   | 0,4  |
|  | Total (A)   | 121,9  |
| Nivel sonoro   | Nivel de presión sonora ⑤ dBA                         | 63,5   |
| Refrigerante   | Tipo  | R410A  |
|  | Potencial calentamiento atmosférico (PCA) ⑥           | 2.088  |
|  | Carga (kg)  | 31   |
| Dimensiones  | Largo (mm)  | 3.389  |
|  | Ancho (mm)  | 1.900  |
|  | Alto (mm)   | 2.267  |
| Peso   | (kg)  | 2.270  |
| Evacuación de condensados Ø                                    |   | 3/4"   |

① Potencia de deshumectación frigorífica del equipo. Para la selección del equipo conviene tener en cuenta la deshumectación que proporciona el aporte de aire exterior de ventilación (UNE 100011).

② Potencia calorífica útil en aire y en agua. Condiciones de temperatura de entrada de aire de 28°C y 65% HR (se tiene en cuenta el aporte de condensación menos la potencia frigorífica sensible aportada previamente en la evaporadora). Condiciones de agua de recuperación 28 / 33°C.

③ Potencia absorbida por los compresores en las condiciones nominales.

④ Agua de caldera para la batería de apoyo de agua caliente 82 / 65°C y entrada de aire a 20°C.

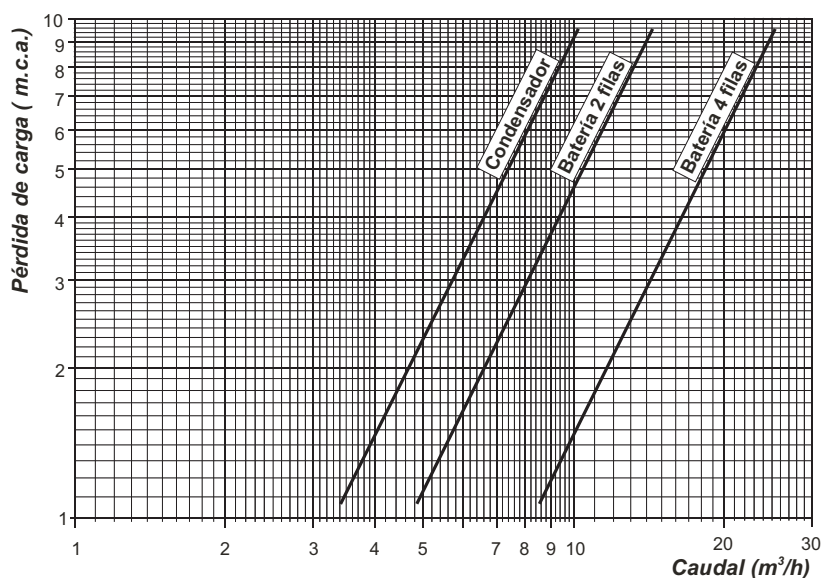
⑤ Nivel de presión sonora en campo libre, medido a 5 m de distancia, directividad 2 y 1,5 metro del suelo

⑥ Potencial de calentamiento climático de un kilogramo de gas fluorado de efecto invernadero en relación con un kilogramo de dióxido de carbono sobre un período de 100 años.

## BATERÍA DE APOYO DE AGUA CALIENTE (OPCIONAL)

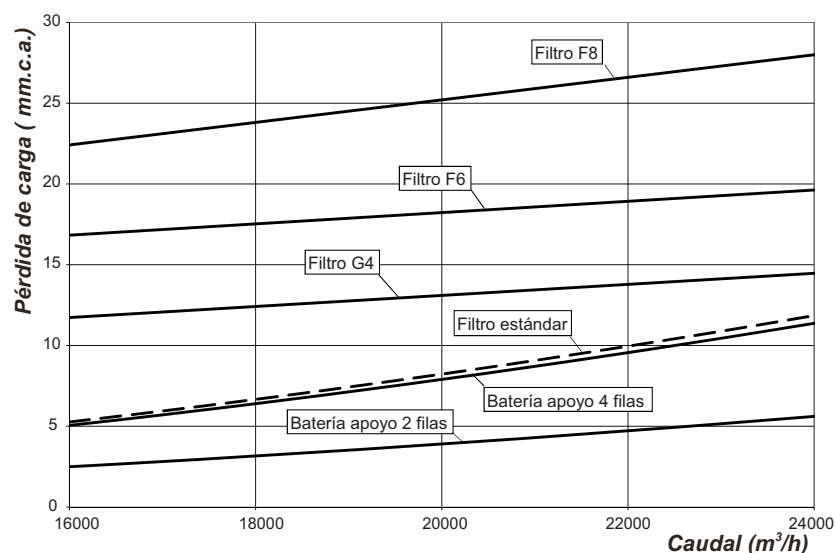
| Número filas | Caudal aire (m <sup>3</sup> /h) | Temp entrada del aire (°C) | Humedad relativa del aire (%) | Tª entrada agua (°C) | Tª salida agua (°C) | Potencia calorífica (kW) | Caudal agua (m <sup>3</sup> /h) | Pérdida carga en agua (m.c.a.) |
|--------------|---------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|---------------------|--------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| 2 Filas      | 24000                           | 20                         | 60                            | 82                   | 65                  | 146,9                    | 7,4                             | 2,5                            |
|              |                                 | 20                         | 60                            | 55                   | 47                  | 85,1                     | 9,1                             | 3,8                            |
|              |                                 | 28                         | 65                            | 82                   | 65                  | 121,7                    | 6,2                             | 1,8                            |
|              |                                 | 28                         | 65                            | 55                   | 47                  | 60,9                     | 6,5                             | 2,1                            |
|              |                                 | 35                         | 50                            | 82                   | 65                  | 100,1                    | 5,1                             | 1,3                            |
|              |                                 | 35                         | 50                            | 55                   | 47                  | 40,0                     | 4,3                             | 1,0                            |
| 4 Filas      | 24000                           | 20                         | 60                            | 82                   | 65                  | 225,9                    | 11,4                            | 1,6                            |
|              |                                 | 20                         | 60                            | 55                   | 47                  | 129,7                    | 13,9                            | 2,5                            |
|              |                                 | 28                         | 65                            | 82                   | 65                  | 187,9                    | 9,5                             | 1,6                            |
|              |                                 | 28                         | 65                            | 55                   | 47                  | 93,6                     | 10,1                            | 1,4                            |
|              |                                 | 35                         | 50                            | 82                   | 65                  | 155,5                    | 7,9                             | 0,8                            |
|              |                                 | 35                         | 50                            | 55                   | 47                  | 62,9                     | 6,8                             | 0,7                            |

## PÉRDIDAS DE CARGA DE AGUA

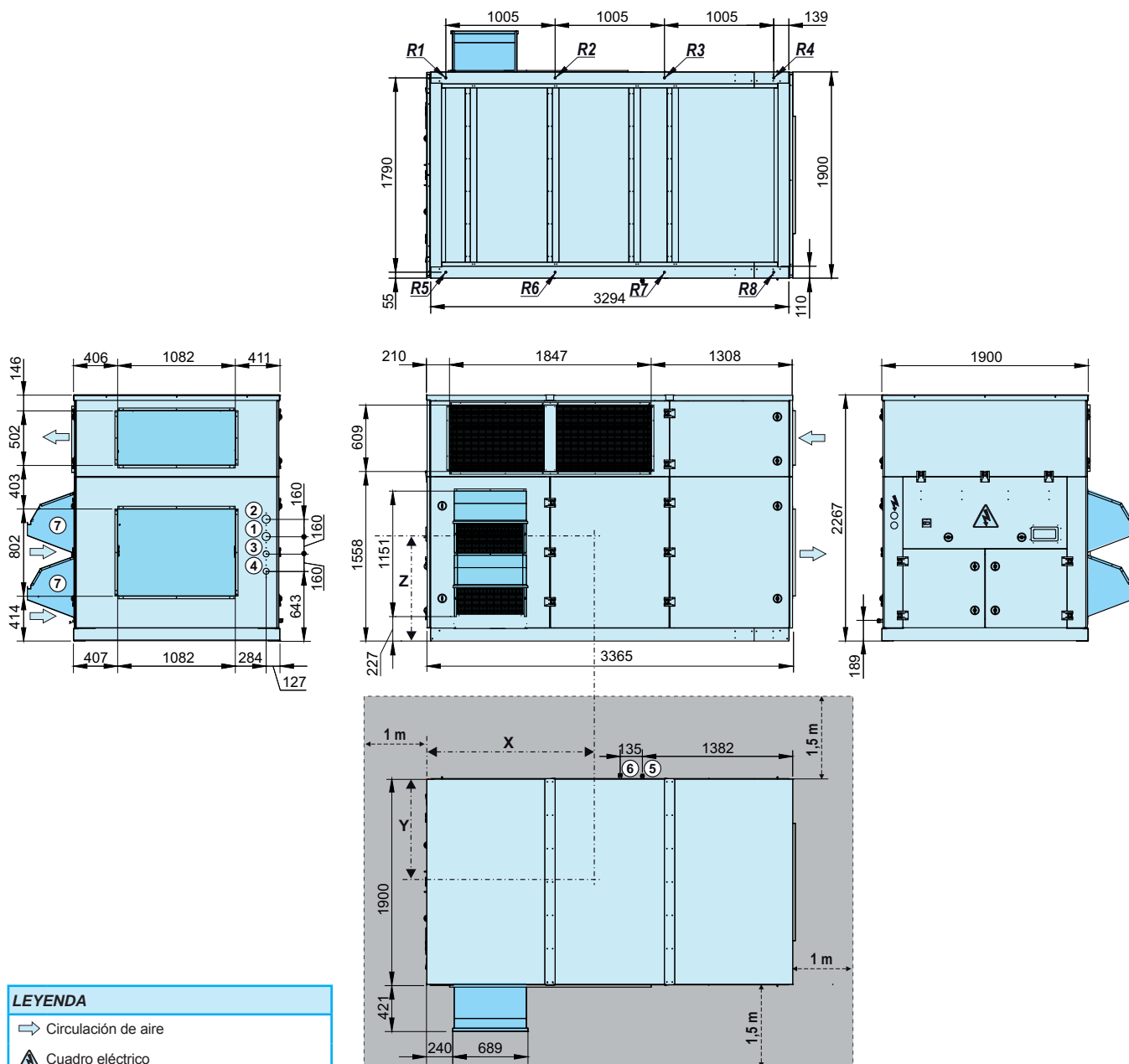


Nota: batería de apoyo de agua caliente con agua a 82 / 65°C y entrada de aire a 20°C.

## PÉRDIDAS DE CARGA DE AIRE



### ESQUEMAS DE DIMENSIONES BCP-360



#### LEYENDA

- Circulación de aire
- ⚡ Cuadro eléctrico
- ⚡ Acometida eléctrica
- ⊗ Interruptor de puerta
- ① Salida agua batería de apoyo (opcional)
- ② Entrada agua batería de apoyo (opcional)
- ③ Salida agua circuito de recuperación
- ④ Entrada agua circuito de recuperación
- ⑤ Evacuación condensados, entronque 3/4" M
- ⑥ Evacuación condensados, entronque 3/4" M
- ⑦ Cubierta compuerta en entrada de aire nuevo para instalación en exterior (opcional)

Anclajes antivibratorios: tuerca remache M12

Perfil embocaduras: 25 mm

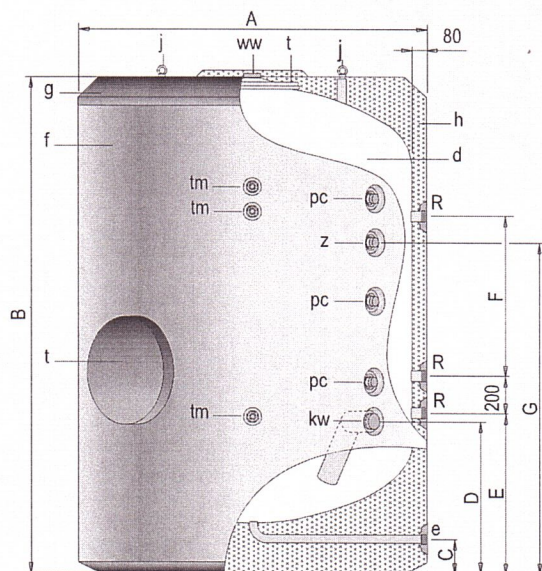
Espacio libre a respetar para las operaciones de mantenimiento y puesta en marcha

| BCP | Centro gravedad (mm) |     |     | Reacciones en los apoyos (kg) |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|----------------------|-----|-----|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|     | X                    | Y   | Z   | Peso                          | R1  | R2  | R3  | R4  | R5  | R6  | R7  | R8  |
| 360 | 1.476                | 996 | 963 | 2270                          | 275 | 429 | 300 | 189 | 246 | 400 | 271 | 160 |

## ACUMULADOR ACS



## Para acumulación



- d - Depósito acumulador A.C.S.
- f - Forro externo (opcional)
- g - Cubierta superior (opcional)
- h - Aislamiento térmico
- j - Cáncamos para transporte
- t - Boca de hombre DN400

### Descripción

Depósitos de gran capacidad para acumulación de agua caliente sanitaria. Fabricados en acero vitrificado s/DIN 4753, con capacidades de 1500 a 5000 litros.

Aislados térmicamente con espuma rígida de poliuretano inyectada en molde, libre de CFC.

Todos los modelos disponen de conexiones para la incorporación de resistencias eléctricas de calentamiento como sistema principal de producción de ACS, o como sistema de apoyo.

Incorporan de serie equipo de protección catódica permanente "Lapesa Correx-up" (ver pag. 42).

| Características técnicas /Conexiones /Dimensiones |        | MVV1500RB | MVV2000RB | MVV2500RB | MVV3000RB | MVV3500RB | MVV4000RB | MVV5000RB |
|---|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Capacidad de A.C.S.                               | l      | 1500      | 2000      | 2500      | 3000      | 3500      | 4000      | 5000      |
| Temperatura máx. en continuo depósito de A.C.S.   | °C     | 90        | 90        | 90        | 90        | 90        | 90        | 90        |
| Presión máx. depósito de A.C.S. (*)               | bar    | 8         | 8         | 8         | 8         | 8         | 8         | 8         |
| Peso en vacío aprox.                              | Kg     | 400       | 460       | 635       | 705       | 755       | 915       | 1030      |
| Cota A: diámetro exterior                         | mm     | 1360      | 1360      | 1660      | 1660      | 1660      | 1910      | 1910      |
| Cota B: longitud total                            | mm     | 1830      | 2280      | 2015      | 2305      | 2580      | 2310      | 2710      |
| Cota C:   | mm     | 160       | 160       | 195       | 195       | 195       | 190       | 190       |
| Cota D:   | mm     | 670       | 670       | 800       | 800       | 800       | 865       | 865       |
| Cota E:   | mm     | 685       | 685       | 805       | 805       | 805       | 875       | 875       |
| Cota F:   | mm     | 330       | 780       | 300       | 590       | 875       | 465       | 870       |
| Cota G:   | mm     | 1115      | 1560      | 1250      | 1540      | 1755      | 1450      | 1805      |
| kw: entrada agua fría                             | "GAS/M | 2         | 2         | 3         | 3         | 3         | 3         | 3         |
| e: desagüe  | "GAS/M | 1-1/2     | 1-1/2     | 1-1/2     | 1-1/2     | 1-1/2     | 1-1/2     | 1-1/2     |
| ww: salida agua caliente                          | "GAS/M | 2         | 2         | 3         | 3         | 3         | 3         | 3         |
| z: recirculación                                  | "GAS/M | 1-1/2     | 1-1/2     | 2         | 2         | 2         | 2         | 2         |
| R: conexión resistencia                           | "GAS/M | 2         | 2         | 2         | 2         | 2         | 2         | 2         |
| tm: conexión sensores laterales                   | "GAS/M | 3/4       | 3/4       | 3/4       | 3/4       | 3/4       | 3/4       | 3/4       |
| pc: conexión protección catódica                  | "GAS/M | 1-1/2     | 1-1/2     | 1-1/2     | 1-1/2     | 1-1/2     | 1-1/2     | 1-1/2     |
| nº de conexiones de protección catódica           | und.   | 2         | 2         | 2         | 3         | 3         | 3         | 3         |

(\*) Otras presiones, consultar.

## CALDERAS

## Datos técnicos de la caldera

### Datos técnicos

|  |         |  |             |             |             |             |              |
|--|---------|--|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| <b>Potencia térmica útil</b>   |         |  |             |             |             |             |              |
| $T_i/T_R = 50/30\text{ °C}$  | kW      | de 29 a 87                                       | de 38 a 115 | de 47 a 142 | de 47 a 186 | de 82 a 246 | de 104 a 311 |
| $T_i/T_R = 80/60\text{ °C}$  | kW      | de 27 a 80                                       | de 35 a 105 | de 43 a 130 | de 43 a 170 | de 75 a 225 | de 95 a 285  |
| <b>Carga térmica nominal</b>   | kW      | de 27 a 82                                       | de 36 a 108 | de 45 a 134 | de 44 a 175 | de 77 a 232 | de 98 a 293  |
| <b>N.º de distintivo de homologación</b>                             |         | CE-0085BQ0021                                    |             |             |             |             |              |
| <b>Temperatura de servicio admisible</b>                             | °C      | 95   | 95          | 95          | 95          | 95          | 95           |
| <b>Temperatura adm. de impulsión</b><br>(= temperatura de seguridad) | °C      | 110  | 110         | 110         | 110         | 110         | 110          |
| <b>Presión de servicio adm.</b>                                      | bar     | 4  | 4           | 4           | 4           | 4           | 4            |
|  | MPa     | 0,4  | 0,4         | 0,4         | 0,4         | 0,4         | 0,4          |
| <b>Dimensiones del cuerpo de la caldera</b>                          |         |  |             |             |             |             |              |
| Longitud g <sup>*1</sup>   | mm      | 1356   | 1356        | 1356        | 1396        | 1396        | 1396         |
| Anchura d  | mm      | 660  | 660         | 660         | 760         | 760         | 760          |
| Altura (con tomas) p   | mm      | 1178   | 1178        | 1178        | 1277        | 1277        | 1277         |
| <b>Dimensiones totales</b>   |         |  |             |             |             |             |              |
| Longitud total e   | mm      | 1766   | 1766        | 1766        | 1795        | 1795        | 1795         |
| Anchura total c  | mm      | 816  | 816         | 816         | 916         | 916         | 916          |
| Altura total a   | mm      | 1351   | 1351        | 1351        | 1450        | 1450        | 1450         |
| <b>Bancada</b>   |         |  |             |             |             |             |              |
| Longitud   | mm      | 1250   | 1250        | 1250        | 1250        | 1250        | 1250         |
| Anchura  | mm      | 800  | 800         | 800         | 800         | 800         | 800          |
| Altura   | mm      | 100  | 100         | 100         | 100         | 100         | 100          |
| <b>Peso</b>  |         |  |             |             |             |             |              |
| – Cuerpo de la caldera   | kg      | 181  | 185         | 189         | 228         | 243         | 256          |
| <b>Peso total</b>  |         |  |             |             |             |             |              |
| – Caldera con quemador, aislamiento térmico y regulación de caldera  | kg      | 272  | 281         | 285         | 331         | 347         | 362          |
| <b>Volumen de agua de la caldera</b>                                 | litros  | 229  | 225         | 221         | 306         | 292         | 279          |
| <b>Conexiones de la caldera</b>                                      |         |  |             |             |             |             |              |
| Impulsión de caldera   | PN 6 DN | 50   | 50          | 50          | 65          | 65          | 65           |
| Retorno de caldera   | PN 6 DN | 50   | 50          | 50          | 65          | 65          | 65           |
| Toma de seguridad (válvula de seguridad)                             | R       | 1¼   | 1¼          | 1¼          | 1¼          | 1¼          | 1¼           |
| Vaciado  | R       | 1  | 1           | 1           | 1           | 1           | 1            |
| Desagüe de condensados (sifón)                                       | Ø mm    | 20   | 20          | 20          | 20          | 20          | 20           |
| <b>Índices de humos<sup>*2</sup></b>                                 |         |  |             |             |             |             |              |
| Temperatura (con una temperatura de retorno de 30 °C)                |         |  |             |             |             |             |              |
| – con potencia térmica útil  | °C      | 45   | 45          | 45          | 45          | 45          | 45           |
| – con carga parcial  | °C      | 35   | 35          | 35          | 35          | 35          | 35           |
| Temperatura (con una temperatura de retorno de 60 °C)                |         |  |             |             |             |             |              |
| – con potencia térmica útil  | °C      | 75   | 75          | 75          | 75          | 75          | 75           |
| Caudal másico (con gas natural)                                      |         |  |             |             |             |             |              |
| – con potencia térmica útil  | kg/h    | 127  | 166         | 205         | 269         | 356         | 451          |
| – con carga parcial  | kg/h    | 42   | 55          | 69          | 90          | 119         | 150          |
| Presión de impulsión disponible                                      | Pa      | 70   | 70          | 70          | 70          | 70          | 70           |
| En la toma de salida de humos <sup>*3</sup>                          | mbar    | 0,7  | 0,7         | 0,7         | 0,7         | 0,7         | 0,7          |
| <b>Conexión de humos</b>   | Ø mm    | 150  | 150         | 150         | 200         | 200         | 200          |
| <b>Rendimiento estacional</b>  |         |  |             |             |             |             |              |
| Con temp. del sistema de calefacción de 40/30 °C                     | %       | hasta 97 (H <sub>s</sub> )/108 (H <sub>i</sub> ) |             |             |             |             |              |
| Con temp. del sistema de calefacción de 75/60 °C                     | %       | hasta 95 (H <sub>s</sub> )/106 (H <sub>i</sub> ) |             |             |             |             |              |
| <b>Pérdida por disposición de servicio q<sub>b</sub></b>             | %       | 0,6  | 0,6         | 0,5         | 0,5         | 0,4         | 0,4          |

70

<sup>\*1</sup> Sin quemador de radiación MatriX.

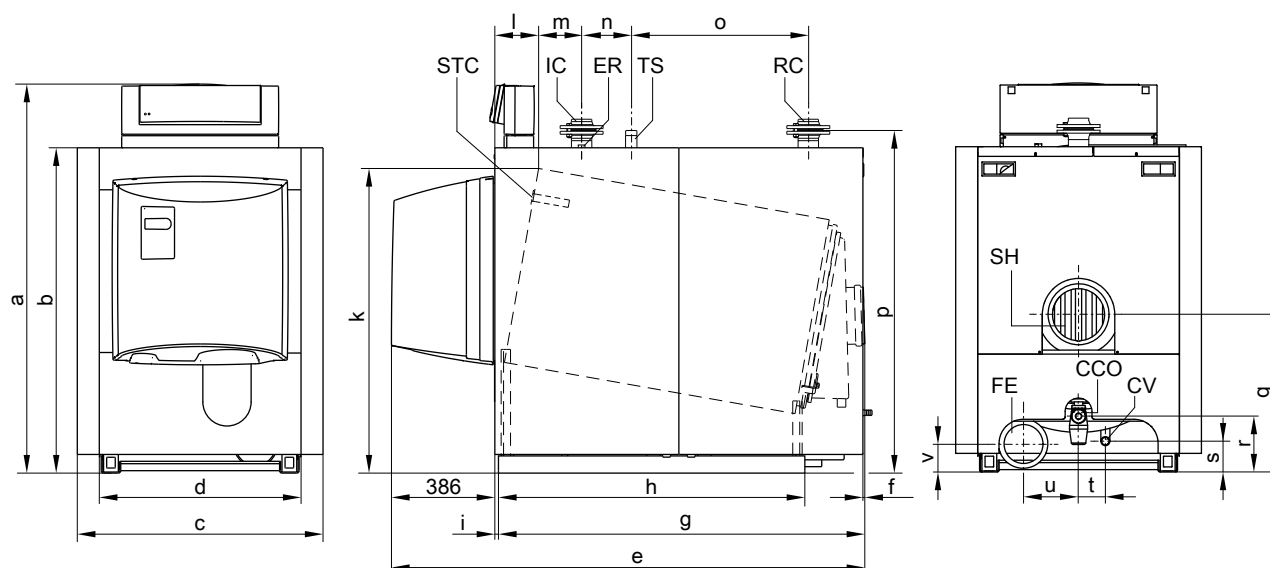
<sup>\*2</sup> Valores de cálculo para el dimensionado del sistema de salida de humos según EN 13384 referidos a un 10 % de CO<sub>2</sub> con gas natural.

Temperaturas de humos indicadas en valores brutos medidos a una temperatura del aire de combustión de 20 °C.

Los datos relativos a la carga parcial se refieren a una potencia del 33 % de la potencia térmica útil. Si varía la carga parcial (según el modo de funcionamiento del quemador), se tiene que calcular el caudal másico de humos correspondiente.

<sup>\*3</sup> Si se utiliza la Vitocrossal 200 con chimeneas resistentes a la humedad, la presión de impulsión no debe superar los 0 Pa.

## Datos técnicos de la caldera (continuación)



|     |                                    |    |  |
|-----|------------------------------------|----|--|
| SH  | Salida de humos                    | ER | Manguito R $\frac{1}{2}$ para equipos de regulación adicionales (p. ej., presostato de mínima) |
| V   | Vaciado                            | FE | Conexión de entrada de aire $\varnothing$ 150 mm para funcionamiento estanco (accesorio)       |
| CCO | Conducto de vaciado de condensados | TS | Toma de seguridad (válvula de seguridad)   |
| RC  | Retorno de caldera                 |    |  |
| STC | Sonda de temperatura de caldera    |    |  |
| IC  | Impulsión de caldera               |    |  |

**Tabla de dimensiones**

| Potencia térmica útil  | kW | 87   | 115  | 142  | 186  | 246  | 311  |
|--|----|------|------|------|------|------|------|
| a  | mm | 1351 | 1351 | 1351 | 1450 | 1450 | 1450 |
| b  | mm | 1114 | 1114 | 1114 | 1213 | 1213 | 1213 |
| c  | mm | 816  | 816  | 816  | 916  | 916  | 916  |
| d  | mm | 660  | 660  | 660  | 760  | 760  | 760  |
| e  | mm | 1766 | 1766 | 1766 | 1795 | 1795 | 1795 |
| f (saliente trasero del tubo de salida de humos)   | mm | 9    | 9    | 9    | 38   | 38   | 38   |
| g  | mm | 1356 | 1356 | 1356 | 1396 | 1396 | 1396 |
| h (longitud del soporte)   | mm | 1142 | 1142 | 1142 | 1142 | 1142 | 1142 |
| i (distancia del borde delantero del aislamiento térmico al soporte)                                   | mm | 25   | 25   | 25   | 14   | 14   | 14   |
| k  | mm | 1059 | 1059 | 1059 | 1160 | 1160 | 1160 |
| l (distancia del borde delantero del aislamiento térmico a la parte superior del cuerpo de la caldera) | mm | 144  | 144  | 144  | 151  | 151  | 151  |
| m  | mm | 173  | 173  | 173  | 173  | 173  | 173  |
| n  | mm | 185  | 185  | 185  | 185  | 185  | 185  |
| o  | mm | 660  | 660  | 660  | 660  | 660  | 660  |
| p  | mm | 1178 | 1178 | 1178 | 1277 | 1277 | 1277 |
| q  | mm | 539  | 539  | 539  | 588  | 588  | 588  |
| r  | mm | 221  | 221  | 221  | 208  | 208  | 208  |
| s  | mm | 115  | 115  | 115  | 115  | 115  | 115  |
| t  | mm | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |
| u  | mm | 157  | 157  | 157  | 207  | 207  | 207  |
| v  | mm | 105  | 105  | 105  | 105  | 105  | 105  |

Si se presentan dificultades en el montaje, se puede desmontar la caja de humos.

## CAPTADORES SOLARES



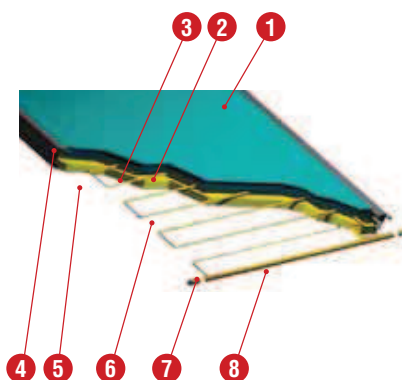
## Kaplan S 2.6 V



### DESCRIPCIÓN DE PRODUCTO

- Captador solar de alto rendimiento con una superficie total de 2,55 m<sup>2</sup> y rendimiento óptico del 80%.
- Configuración del tipo MEANDRO realizada con tubo de cobre de 8 mm. de diámetro exterior.
- **Especialmente indicado para sistemas Drain Back.**
- Permite instalar baterías de hasta 12 captadores conectados en paralelo.
- Su bajo caudal de trabajo permite diseñar instalaciones con tuberías de diámetros inferiores y sistemas de impulsión de mayor eficiencia.
- Absorbedor con recubrimiento selectivo sobre lámina de aluminio de una sola pieza, soldado con tecnología Láser.

### ESQUEMA DE PRINCIPIO



1. Vidrio espesor 4 mm.
2. Absorbedor aluminio con recubrimiento selectivo
3. Lana mineral de 55 mm.
4. Marco de aluminio extruido
5. Lana de vidrio de 20 mm.
6. Meandro de cobre Ø 8 mm.
7. Conexión Ø 22 mm. (4 unidades)
8. Tubo colector cobre Ø 22 mm.

| CÓDIGO | MODELO   | PRECIO € |
|--------|--|----------|
| 50402  | Captador solar Kaplan S 2.6 V (montaje vertical) | 775,00   |

### RENDIMIENTO TÉRMICO

Basado superficie de apertura

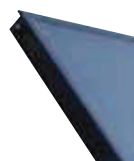
Rendimiento óptico ( $h_{0a}$ )

Coef. pérdidas k1 (W/m<sup>2</sup>K) ( $a_{1a}$ )

Coef. pérdidas k2 (W/m<sup>2</sup>K) ( $a_{2a}$ )

|        |
|--------|
| 0,807  |
| 3,7    |
| 0,0111 |

ENSAYO  
Solartechnik  
Prüfung  
Forschung

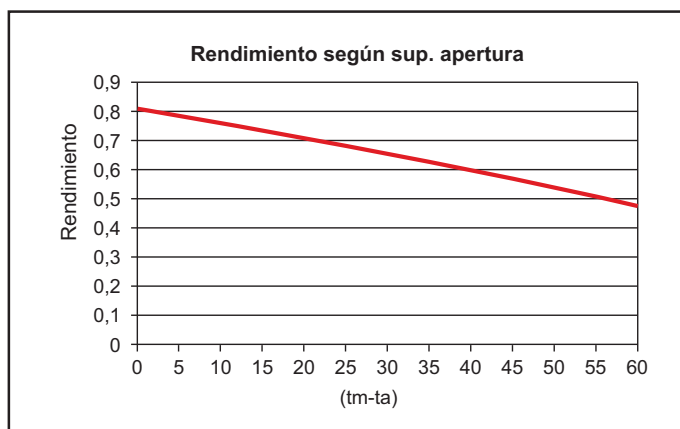


Marco de aluminio con perfil especial para fijar la estructura de montaje rápido.

$$h_a = h_{0a} - a_{1a} \left( \frac{t_m - t_a}{G} \right) - a_{2a} G \left( \frac{t_m - t_a}{G} \right)^2$$



En las baterías mayores de 4 o 5 Kaplan S 2.6 V deben instalarse elementos de absorción de dilatación del tipo flexible.



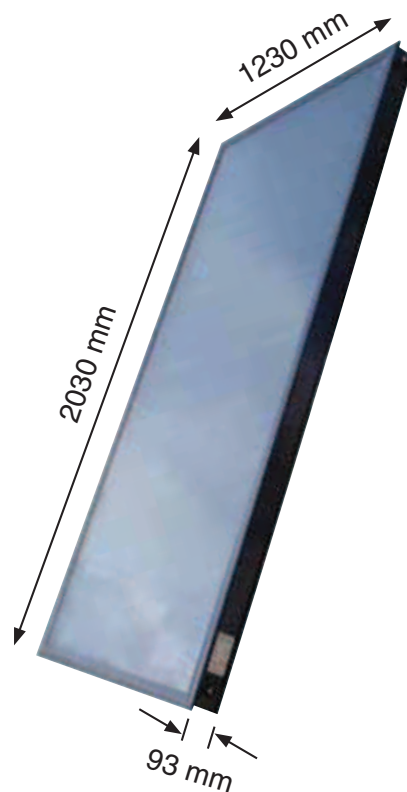
Instalación mediante estructura de aluminio fácil de montar en cubierta plana y sobre cubierta inclinada

**HOMOLOGACIÓN GPS 8483**

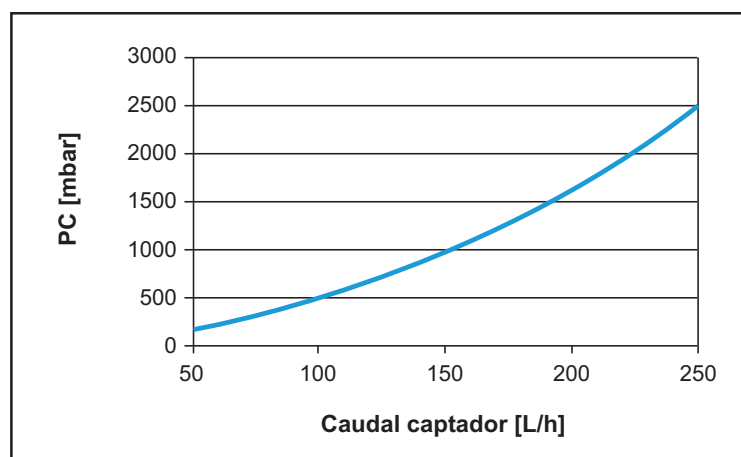
## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y DIMENSIONES

| MODELO                               |                | Kaplan S 2.6 V                  |
|--------------------------------------|----------------|---------------------------------|
| <b>Características constructivas</b> |                |                                 |
| <b>ABSORBEDOR</b>                    |                |                                 |
| Configuración                        | tipo           | Completo / Meandro              |
| Material                             | tipo           | Aluminio                        |
| Soldadura                            | tipo           | Láser                           |
| Tratamiento superficial              | tipo           | Selectivo de alta eficiencia    |
| <b> AISLAMIENTO</b>                  |                |                                 |
| Material                             | tipo           | Lana mineral / Lana vidrio      |
| Espesor                              | mm             | 55 / 20                         |
| <b>ACABADOS</b>                      |                |                                 |
| Cubierta de cristal                  | tipo           | Templado bajo contenido Fe      |
| Carcasa de aluminio                  | tipo           | Extruido                        |
| Sistema anticondensación             | tipo           | 4 tubos de ventilación estancos |
| <b>Características técnicas</b>      |                |                                 |
| Alto x Ancho x Profundidad           | mm             | 2030 x 1230 x 93                |
| Superficie total                     | m <sup>2</sup> | 2,549                           |
| Superficie apertura                  | m <sup>2</sup> | 2,288                           |
| Superficie absorción                 | m <sup>2</sup> | 2,26                            |
| Peso total en vacío                  | kg             | 53                              |
| Capacidad total                      | L              | 1,8                             |
| Presión máx. de trabajo              | bar            | 6                               |
| Temperatura máxima de trabajo        | °C             | 100                             |
| Temperatura estancamiento            | °C             | 203                             |
| Nº máx. colectores en paralelo       | ud             | 12                              |
| Caudal de trabajo por captador       | L/h            | 46 - 69                         |
| Conexiones ud x diámetro             | udxmm          | 4 x 22                          |

## ESQUEMA DIMENSIONAL



## PÉRDIDA DE CARGA

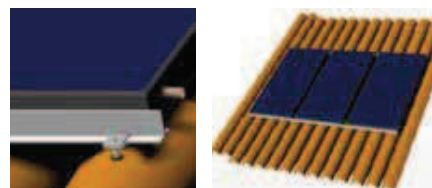


| Caudal L/h | 50  | 100 | 150 | 200  | 250  |
|------------|-----|-----|-----|------|------|
| PC mbar    | 160 | 486 | 979 | 1638 | 2463 |

Tª fluido = 20°C ± 2°C

Caudales recomendados sombreados en gris

## DETALLES DE FIJACIÓN CUBIERTA INCLINADA



## DETALLES DE FIJACIÓN CUBIERTA PLANA



Interacumuladores

Generadores

Calderas

Renovables  
Solar

Gran acumulación

Eléctricas

## INTERACUMULADORES SOLARES



(\*) Otras presiones, consultar. (\*\*) Temperatura estándar. Otras temperaturas, consultar.

## INTERCAMBIADORES DE CALOR

## INTERCAMBIADOR CALDERA-ACS

### SEDICAL - Intercambiador de placas UFP-32 / 48 H - C - PN10

| Datos Generales                               |                       | Caliente                         | Frio    |
|---|-----------------------|----------------------------------|---------|
| Fluido  |                       | Aqua                             | Aqua    |
| Potencia de intercambio                       | kW                    | 120.0                            |         |
| Caudal  | l/h                   | 5276.0                           | 10485.7 |
| Temperatura entrada                           | °C                    | 80.0                             | 50.0    |
| Temperatura salida                            | °C                    | 60.0                             | 60.0    |
| Perdida de carga                              | kPa                   | 9.9                              | 29.6    |
| Propiedades termodinámicas                    |                       | Caliente                         | Frio    |
| Densidad                                      | kg/m <sup>3</sup>     | 978.06                           | 985.86  |
| Calor específico                              | kJ/kg×°K              | 4.19                             | 4.18    |
| Conductividad térmica                         | W/m×°K                | 0.66                             | 0.65    |
| Viscosidad media                              | mPa×s                 | 0.43                             | 0.53    |
| Viscosidad pared                              | mPa×s                 | 0.53                             | 0.43    |
| Datos técnicos del intercambiador             |                       |                                  |         |
| Diferencia de temperatura logarítmica media   | °C                    | 14.43                            |         |
| Numero de placas                              |                       | 48                               |         |
| Agrupamiento                                  |                       | 1 x 23 / 1 x 24                  |         |
| Tipo / porcentaje                             |                       | H                                |         |
| Superficie de intercambio efectiva            | m <sup>2</sup>        | 1.93                             |         |
| Coef. global de transmisión (servicio /       | W/m <sup>2</sup> ×°K  | 4305.2 / 5814.3                  |         |
| Sobredimensionamiento                         | %                     | 35.05                            |         |
| Factor de ensuciamiento                       | m <sup>2</sup> ×°K/kW | 0.0602                           |         |
| Presión de trabajo / prueba                   | bar                   | 10.0 / 14.3                      |         |
| Temperatura máxima de diseño                  | °C                    | 100.0                            |         |
| Acorde a normativa                            |                       | PED 97/23/EC Art 3.3             |         |
| Materiales, dimensiones y pesos               |                       |                                  |         |
| Material del bastidor / tornillos             |                       | ST 52.3 / calidad 8.8            |         |
| Material de las placas / grosor               | mm                    | AISI 316 / 0.5 mm                |         |
| Material de las juntas                        |                       | Nitrilo HT ( sin pegamento )     |         |
| Material de las conexiones circuito caliente  |                       | AISI 316                         |         |
| Material de las conexiones circuito frio      |                       | AISI 316                         |         |
| Diámetro de las conexiones                    |                       | R 1 1/4 "                        |         |
| Situación de las conexiones (Caliente / frio) |                       | F1 - F4 / F3 - F2                |         |
| Tipo de bastidor                              |                       | C - PN10                         |         |
| Especificación pintura del bastidor           |                       | Según ISO12944 Categ. C2 RAL5010 |         |
| Largo, alto, ancho y peso del bastidor        |                       | 390 mm/ 480 mm/ 194 mm/ 48 kg    |         |
| Precios y plazos                              |                       |                                  |         |
| Precio unitario tarifa 2014                   | Euros                 | 976.39 €                         |         |
| Cantidad                                      | Unidades              | 1                                |         |
| Precio total tarifa 2014                      | Euros                 | 976.39 €                         |         |
| Plazo de entrega                              |                       | De 3 a 8 semanas a confirmar     |         |
| Transporte                                    |                       | Excluido                         |         |
| Forma de pago                                 |                       | La habitual con Vds.             |         |
| Validez de la oferta                          |                       | 2 semanas                        |         |
| Fecha máxima para recepción del pedido        |                       | 30/12/2014                       |         |



## INTERCAMBIADOR CALDERA-PISCINA ENTRENAMIENTO

### SEDICAL - Intercambiador de placas UFP-52 / 26 L - C1 - PN10

| Datos Generales                               |          | Caliente                         | Frio    |
|---|----------|----------------------------------|---------|
| Fluido  |          | Aqua                             | Aqua    |
| Potencia de intercambio                       | kW       | 256.9                            |         |
| Caudal  | l/h      | 11295.4                          | 22223.5 |
| Temperatura entrada                           | °C       | 80.0                             | 25.0    |
| Temperatura salida                            | °C       | 60.0                             | 35.0    |
| Perdida de carga                              | kPa      | 9.3                              | 29.8    |
| Propiedades termodinámicas                    |          | Caliente                         | Frio    |
| Densidad                                      | kg/m³    | 978.06                           | 995.23  |
| Calor específico                              | kJ/kg×°K | 4.19                             | 4.18    |
| Conductividad térmica                         | W/m×°K   | 0.66                             | 0.62    |
| Viscosidad media                              | mPa×s    | 0.43                             | 0.80    |
| Viscosidad pared                              | mPa×s    | 0.80                             | 0.43    |
| Datos técnicos del intercambiador             |          |                                  |         |
| Diferencia de temperatura logarítmica media   | °C       | 39.79                            |         |
| Numero de placas                              |          | 26                               |         |
| Agrupamiento                                  |          | 1 x 12 / 1 x 13                  |         |
| Tipo / porcentaje                             |          | L                                |         |
| Superficie de intercambio efectiva            | m²       | 1.76                             |         |
| Coef. global de transmisión (servicio /       | W/m²×°K  | 3660.1 / 4886.3                  |         |
| Sobredimensionamiento                         | %        | 33.50                            |         |
| Factor de ensuciamiento                       | m²×°K/kW | 0.0685                           |         |
| Presión de trabajo / prueba                   | bar      | 10.0 / 14.3                      |         |
| Temperatura máxima de diseño                  | °C       | 100.0                            |         |
| Acorde a normativa                            |          | PED 97/23/EC Art 3.3             |         |
| Materiales, dimensiones y pesos               |          |                                  |         |
| Material del bastidor / tornillos             |          | ST 52.3 / calidad 8.8            |         |
| Material de las placas / grosor               | mm       | AISI 316 / 0.5 mm                |         |
| Material de las juntas                        |          | Nitrilo HT ( sin pegamento )     |         |
| Material de las conexiones circuito caliente  |          | AISI 316                         |         |
| Material de las conexiones circuito frio      |          | AISI 316                         |         |
| Diámetro de las conexiones                    |          | R 2 "                            |         |
| Situación de las conexiones (Caliente / frio) |          | F1 - F4 / F3 - F2                |         |
| Tipo de bastidor                              |          | C1 - PN10                        |         |
| Especificación pintura del bastidor           |          | Según ISO12944 Categ. C2 RAL5010 |         |
| Largo, alto, ancho y peso del bastidor        |          | 485 mm/ 590 mm/ 248 mm/ 94 kg    |         |
| Precios y plazos                              |          |                                  |         |
| Precio unitario tarifa 2014                   | Euros    | 1220.40 €                        |         |
| Cantidad                                      | Unidades | 1                                |         |
| Precio total tarifa 2014                      | Euros    | 1220.40 €                        |         |
| Plazo de entrega                              |          | De 3 a 8 semanas a confirmar     |         |
| Transporte                                    |          | Excluido                         |         |
| Forma de pago                                 |          | La habitual con Vds.             |         |
| Validez de la oferta                          |          | 2 semanas                        |         |
| Fecha máxima para recepción del pedido        |          | 30/12/2014                       |         |

## INTERCAMBIADOR CALDERA-PISCINA ENSEÑANZA

### SEDICAL - Intercambiador de placas UFP-30 / 8 H - C - PN10

| Datos Generales                               |          | Caliente                         | Frio   |
|---|----------|----------------------------------|--------|
| Fluido  |          | Aqua                             | Aqua   |
| Potencia de intercambio                       | kW       | 25.0                             |        |
| Caudal  | l/h      | 1467.1                           | 2162.6 |
| Temperatura entrada                           | °C       | 80.0                             | 25.0   |
| Temperatura salida                            | °C       | 65.0                             | 35.0   |
| Perdida de carga                              | kPa      | 22.6                             | 27.0   |
| Propiedades termodinámicas                    |          | Caliente                         | Frio   |
| Densidad                                      | kg/m³    | 976.60                           | 995.23 |
| Calor específico                              | kJ/kg×°K | 4.19                             | 4.18   |
| Conductividad térmica                         | W/m×°K   | 0.66                             | 0.62   |
| Viscosidad media                              | mPa×s    | 0.42                             | 0.80   |
| Viscosidad pared                              | mPa×s    | 0.80                             | 0.42   |
| Datos técnicos del intercambiador             |          |                                  |        |
| Diferencia de temperatura logarítmica media   | °C       | 42.45                            |        |
| Numero de placas                              |          | 8                                |        |
| Agrupamiento                                  |          | 1 x 3 / 1 x 4                    |        |
| Tipo / porcentaje                             |          | H                                |        |
| Superficie de intercambio efectiva            | m²       | 0.09                             |        |
| Coef. global de transmisión (servicio /       | W/m²×°K  | 6134.5 / 7687.0                  |        |
| Sobredimensionamiento                         | %        | 25.30                            |        |
| Factor de ensuciamiento                       | m²×°K/kW | 0.0329                           |        |
| Presión de trabajo / prueba                   | bar      | 10.0 / 14.3                      |        |
| Temperatura máxima de diseño                  | °C       | 100.0                            |        |
| Acorde a normativa                            |          | PED 97/23/EC Art 3.3             |        |
| Materiales, dimensiones y pesos               |          |                                  |        |
| Material del bastidor / tornillos             |          | ST 52.3 / calidad 8.8            |        |
| Material de las placas / grosor               | mm       | AISI 316 / 0.5 mm                |        |
| Material de las juntas                        |          | Nitrilo HT                       |        |
| Material de las conexiones circuito caliente  |          | AISI 316                         |        |
| Material de las conexiones circuito frio      |          | AISI 316                         |        |
| Diámetro de las conexiones                    |          | R 1 1/4 "                        |        |
| Situación de las conexiones (Caliente / frio) |          | F1 - F4 / F3 - F2                |        |
| Tipo de bastidor                              |          | C - PN10                         |        |
| Especificación pintura del bastidor           |          | Según ISO12944 Categ. C2 RAL5010 |        |
| Largo, alto, ancho y peso del bastidor        |          | 112 mm/ 272 mm/ 165 mm/ 11 kg    |        |
| Precios y plazos                              |          |                                  |        |
| Precio unitario tarifa 2014                   | Euros    | 415.30 €                         |        |
| Cantidad                                      | Unidades | 1                                |        |
| Precio total tarifa 2014                      | Euros    | 415.30 €                         |        |
| Plazo de entrega                              |          | De 3 a 8 semanas a confirmar     |        |
| Transporte                                    |          | Excluido                         |        |
| Forma de pago                                 |          | La habitual con Vds.             |        |
| Validez de la oferta                          |          | 2 semanas                        |        |
| Fecha máxima para recepción del pedido        |          | 30/12/2014                       |        |

## INTERCAMBIADOR SOLAR-PISCINA ENTRENAMIENTO

### SEDICAL - Intercambiador de placas UFP-52 / 19 LH 6 - C1 - PN10

| Datos Generales                               |          | Caliente                         | Frio    |
|---|----------|----------------------------------|---------|
| Fluido  |          | Propilenglicol 40.0%             | Aqua    |
| Potencia de intercambio                       | kW       | 165.0                            |         |
| Caudal  | l/h      | 7633.0                           | 14273.1 |
| Temperatura entrada                           | °C       | 80.0                             | 25.0    |
| Temperatura salida                            | °C       | 60.0                             | 35.0    |
| Perdida de carga                              | kPa      | 8.9                              | 29.1    |
| Propiedades termodinámicas                    |          | Caliente                         | Frio    |
| Densidad                                      | kg/m³    | 1004.36                          | 995.23  |
| Calor específico                              | kJ/kg×°K | 3.88                             | 4.18    |
| Conductividad térmica                         | W/m×°K   | 0.43                             | 0.62    |
| Viscosidad media                              | mPa×s    | 1.17                             | 0.80    |
| Viscosidad pared                              | mPa×s    | 3.62                             | 0.43    |
| Datos técnicos del intercambiador             |          |                                  |         |
| Diferencia de temperatura logarítmica media   | °C       | 39.79                            |         |
| Numero de placas                              |          | 19                               |         |
| Agrupamiento                                  |          | 1 x 9 / 1 x 9                    |         |
| Tipo / porcentaje                             |          | LH 6                             |         |
| Superficie de intercambio efectiva            | m²       | 1.24                             |         |
| Coef. global de transmisión (servicio /       | W/m²×°K  | 3318.6 / 3326.6                  |         |
| Sobredimensionamiento                         | %        | 0.24                             |         |
| Factor de ensuciamiento                       | m²×°K/kW | 0.0007                           |         |
| Presión de trabajo / prueba                   | bar      | 10.0 / 14.3                      |         |
| Temperatura máxima de diseño                  | °C       | 100.0                            |         |
| Acorde a normativa                            |          | PED 97/23/EC Art 3.3             |         |
| Materiales, dimensiones y pesos               |          |                                  |         |
| Material del bastidor / tornillos             | mm       | ST 52.3 / calidad 8.8            |         |
| Material de las placas / grosor               |          | AISI 316 / 0.5 mm                |         |
| Material de las juntas                        |          | Nitrilo HT ( sin pegamento )     |         |
| Material de las conexiones circuito caliente  |          | AISI 316                         |         |
| Material de las conexiones circuito frio      |          | AISI 316                         |         |
| Diámetro de las conexiones                    |          | R 2 "                            |         |
| Situación de las conexiones (Caliente / frio) |          | F1 - F4 / F3 - F2                |         |
| Tipo de bastidor                              |          | C1 - PN10                        |         |
| Especificación pintura del bastidor           |          | Según ISO12944 Categ. C2 RAL5010 |         |
| Largo, alto, ancho y peso del bastidor        |          | 485 mm/ 590 mm/ 248 mm/ 90 kg    |         |
| Precios y plazos                              |          |                                  |         |
| Precio unitario tarifa 2014                   | Euros    | 1078.29 €                        |         |
| Cantidad                                      | Unidades | 1                                |         |
| Precio total tarifa 2014                      | Euros    | 1078.29 €                        |         |
| Plazo de entrega                              |          | De 3 a 8 semanas a confirmar     |         |
| Transporte                                    |          | Excluido                         |         |
| Forma de pago                                 |          | La habitual con Vds.             |         |
| Validez de la oferta                          |          | 2 semanas                        |         |
| Fecha máxima para recepción del pedido        |          | 30/12/2014                       |         |

## INTERCAMBIADOR SOLAR-PISCINA ENSEÑANZA

### SEDICAL - Intercambiador de placas UFP-30 / 9 H - C - PN10

| Datos Generales                                 |                       | Caliente                         | Frio   |
|---|-----------------------|----------------------------------|--------|
| Fluido  |                       | Propilenglicol 40.0%             | Aqua   |
| Potencia de intercambio                         | kW                    | 20.0                             |        |
| Caudal  | l/h                   | 925.2                            | 1730.1 |
| Temperatura entrada                             | °C                    | 80.0                             | 25.0   |
| Temperatura salida                              | °C                    | 60.0                             | 35.0   |
| Perdida de carga                                | kPa                   | 7.9                              | 21.0   |
| Propiedades termodinámicas                      |                       | Caliente                         | Frio   |
| Densidad  | kg/m <sup>3</sup>     | 1004.36                          | 995.23 |
| Calor específico                                | kJ/kg×°K              | 3.88                             | 4.18   |
| Conductividad térmica                           | W/m×°K                | 0.43                             | 0.62   |
| Viscosidad media                                | mPa×s                 | 1.17                             | 0.80   |
| Viscosidad pared                                | mPa×s                 | 3.62                             | 0.43   |
| Datos técnicos del intercambiador               |                       |                                  |        |
| Diferencia de temperatura logarítmica media     | °C                    | 39.79                            |        |
| Numero de placas                                |                       | 9                                |        |
| Agrupamiento                                    |                       | 1 x 4 / 1 x 4                    |        |
| Tipo / porcentaje                               |                       | H                                |        |
| Superficie de intercambio efectiva              | m <sup>2</sup>        | 0.11                             |        |
| Coef. global de transmisión (servicio / limpio) | W/m <sup>2</sup> ×°K  | 4487.7 / 4599.2                  |        |
| Sobredimensionamiento                           | %                     | 2.48                             |        |
| Factor de ensuciamiento                         | m <sup>2</sup> ×°K/kW | 0.0054                           |        |
| Presión de trabajo / prueba                     | bar                   | 10.0 / 14.3                      |        |
| Temperatura máxima de diseño                    | °C                    | 100.0                            |        |
| Acorde a normativa                              |                       | PED 97/23/EC Art 3.3             |        |
| Materiales, dimensiones y pesos                 |                       |                                  |        |
| Material del bastidor / tornillos               |                       | ST 52.3 / calidad 8.8            |        |
| Material de las placas / grosor                 | mm                    | AISI 316 / 0.5 mm                |        |
| Material de las juntas                          |                       | Nitrilo HT                       |        |
| Material de las conexiones circuito caliente    |                       | AISI 316                         |        |
| Material de las conexiones circuito frio        |                       | AISI 316                         |        |
| Diámetro de las conexiones                      |                       | R 1 1/4 "                        |        |
| Situación de las conexiones (Caliente / frio)   |                       | F1 - F4 / F3 - F2                |        |
| Tipo de bastidor                                |                       | C - PN10                         |        |
| Especificación pintura del bastidor             |                       | Según ISO12944 Categ. C2 RAL5010 |        |
| Largo, alto, ancho y peso del bastidor          |                       | 112 mm/ 272 mm/ 165 mm/ 11 kg    |        |
| Precios y plazos                                |                       |                                  |        |
| Precio unitario tarifa 2014                     | Euros                 | 427.80 €                         |        |
| Cantidad  | Unidades              | 1                                |        |
| Precio total tarifa 2014                        | Euros                 | 427.80 €                         |        |
| Plazo de entrega                                |                       | De 3 a 8 semanas a confirmar     |        |
| Transporte                                      |                       | Excluido                         |        |
| Forma de pago                                   |                       | La habitual con Vds.             |        |
| Validez de la oferta                            |                       | 2 semanas                        |        |
| Fecha máxima para recepción del pedido          |                       | 30/12/2014                       |        |

## BOMBAS CIRCULADORAS



Fecha : 19/10/2015  
Oferta :  
Proyecto :  
Referencia :

Empresa :  
A la atención de :  
Dirección :  
Localidad :

## SEDICAL - HOJA TÉCNICA DE LA BOMBA SIM 40/145.1-0.20/K

### Descripción del producto

En todos los sistemas de calefacción, climatización, agua caliente sanitaria, agua, agua de condensados, agua glicolada hasta el 50%, otros medios sin aceites minerales o abrasivos.

Calidad del agua: Libre de sustancias sólidas abrasivas o no, cristalizadas o mezclas químicas y químicamente neutras.

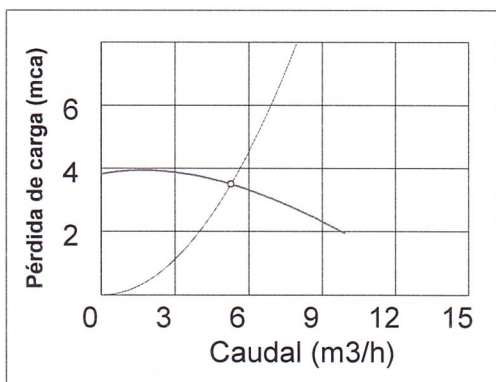
### Datos requeridos

Uso : CALEFACCIÓN  
Fluido : AGUA  
Rotor : SECO  
Tipo : SIMPLE  
Caudal : 5.3 m<sup>3</sup>/h  
Pérdida de carga : 3.5 mca  
Temperatura de trabajo : 90.0 °C  
Posición :

### Datos obtenidos Bomba

Modelo : SIM 40/145.1-0.20/K  
Rodete : Ø 109  
Caudal : 5.3 m<sup>3</sup>/h  
Pérdida de carga : 3.5 mca  
NPSH requerido : 1.1 m  
Nivel sonoro : 38 dB(A)  
Construcción : In-line

### Gráfica de la bomba

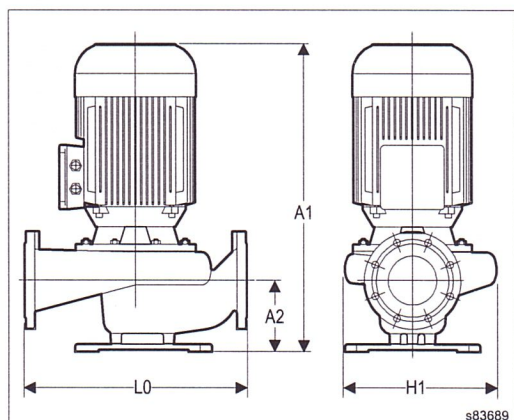


### Motor

Velocidad : 1450 rpm  
Potencia Nominal (Pn) : 0.20 kW  
Protección : IP 54  
Clase de aislamiento : F  
Consumo máx. 3x400 V : 0.7 A  
Consumo máx. 3x230 V : 1.1 A  
Potencia del eje (P2) : 0.08 kW  
Potencia consumida (P1) : 0.11 kW  
Rendimiento motor : 69.00 %  
Rendimiento bomba : 65.96 %  
Rendimiento global : 45.51 %

Los motores monofásicos, de consumo superior a 3 amperios y los motores trifásicos, tienen que ser protegidos exteriormente contra sobrecargas de intensidad, sobretensiones mínimas y caídas de fase.

### Dimensiones y pesos



### Características técnicas

Cuerpo de la bomba : GG 20  
Eje : AISI 329  
Cierre mecánico : Carbón / Carb. silicio  
Juntas : EPDM  
Impulsor : NORYL GFN 2  
Conexiones : Bridas: ISO 7005  
DN 1: 40 mm DN 2: 40 mm  
Presión de trabajo : 10 bar.  
Temperaturas : Máx +100°C / Mín -15°C  
Máx ACS + 80°C

| Lo mm | H1 mm | A1 mm | A2 mm | PESO kg |
|-------|-------|-------|-------|---------|
| 250.0 | 210.0 | 406.0 | 116.0 | 21.0    |

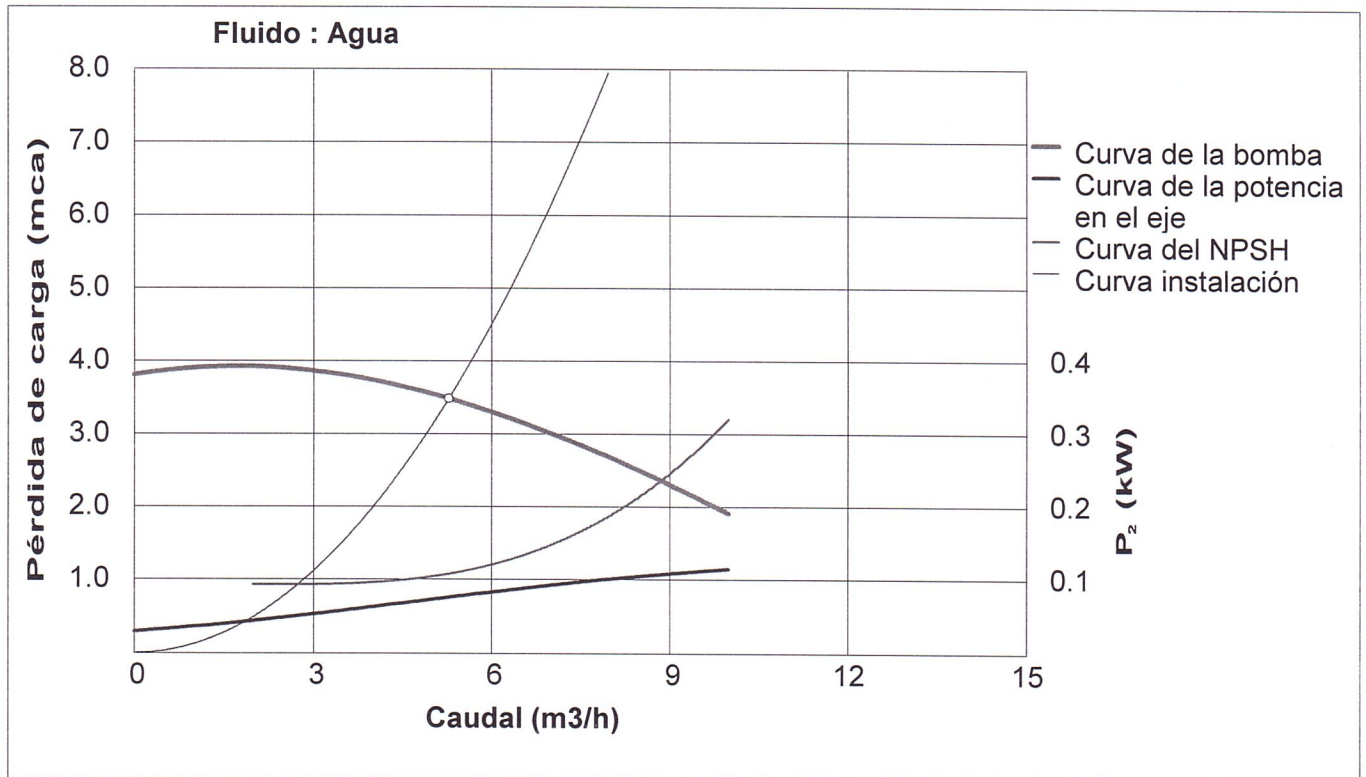
P. Tarifa 2015 : 765.00 Euros  
Iva no incluido (22/09/15)

Fecha : 19/10/2015  
 Oferta :  
 Proyecto :  
 Referencia :

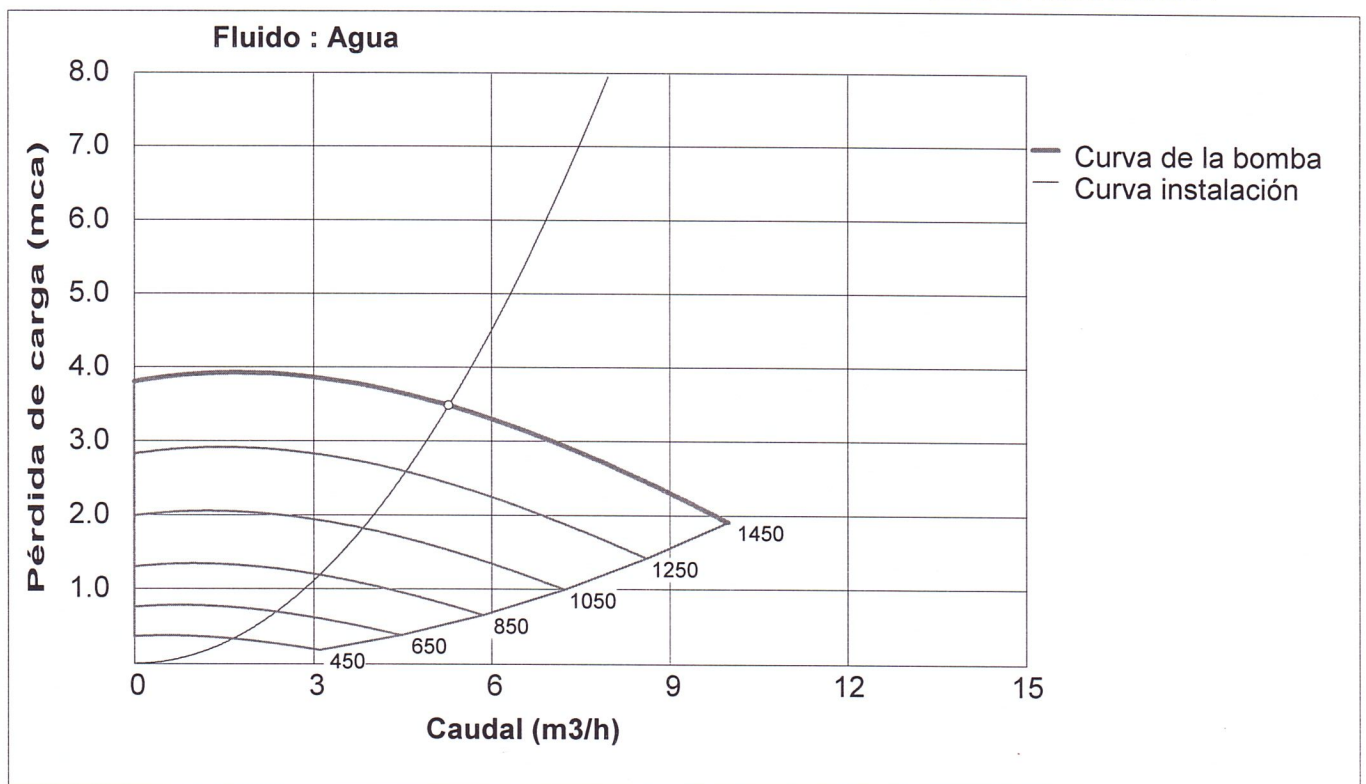
Empresa :  
 A la atención de :  
 Dirección :  
 Localidad :

SEDICAL - GRAFICA DE LA BOMBA SEDICAL - MODELO SIM 40/145.1-0.20/K

### CURVA DE LA BOMBA CON EL RODETE Ø 109



### CAMPO DE TRABAJO CON RODETE Ø 109 Y VARIADOR DE FRECUENCIA





Fecha : 19/10/2015  
Oferta :  
Proyecto :  
Referencia :

Empresa :  
A la atención de :  
Dirección :  
Localidad :

## SEDICAL - HOJA TÉCNICA DE LA BOMBA SAP 25/8 T

### Descripción del producto

Bomba de circulación para ACS de rotor seco, con una temperatura máxima de funcionamiento de 80°C, aunque se recomienda no sobrepasar los 60°C por los efectos negativos de la calcificación. salvo en cortos procesos. Bomba para instalaciones de calefacción o climatización, tanto domésticas como industriales, con temperaturas entre -15 y 120°C.

Calidad del agua: Doméstica potable, libre de sustancias abrasivas o no, cristalizadas o mezclas químicas y químicamente neutras.

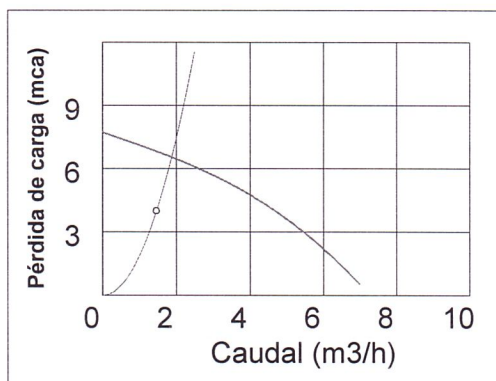
### Datos requeridos

Uso : CALEFACCIÓN  
Fluido : AGUA  
Rotor : SECO  
Tipo : SIMPLE  
Caudal : 1.5 m3/h  
Pérdida de carga : 4.0 mca  
Temperatura de trabajo : 90.0 °C  
Posición :

### Datos obtenidos Bomba

Modelo : SAP 25/8 T  
Rodete : Ø 78  
Caudal : 1.9 m3/h  
Pérdida de carga : 6.5 mca  
NPSH requerido : 1.6 m  
Nivel sonoro : 48 dB(A)  
Construcción : In-line

### Gráfica de la bomba

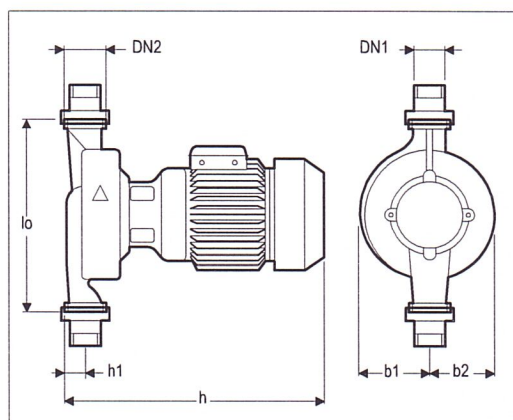


### Motor

Velocidad : 2920 rpm  
Potencia Nominal (Pn) : 0.19 kW  
Protección : IP 44  
Clase de aislamiento : F  
Consumo máx. 3x400 V : 0.7 A  
Consumo máx. 3x230 V : 1.2 A  
Potencia del eje (P2) : 0.10 kW  
Potencia consumida (P1) : 0.16 kW  
Rendimiento motor : 58.00 %  
Rendimiento bomba : 35.19 %  
Rendimiento global : 20.41 %

Los motores monofásicos, de consumo superior a 3 amperios y los motores trifásicos, tienen que ser protegidos exteriormente contra sobrecargas de intensidad, sobretensiones mínimas y caídas de fase.

### Dimensiones y pesos



### Características técnicas

Cuerpo de la bomba : Bronce  
Eje : Acero inoxidable  
Rodete : Termopolímero B  
Cierre mecánico : Cerámica / Carbono  
Junta : EPDM

Conexiones DN1 : R 1 " M  
Conexiones DN2 : R 1 ½" M

Presión de trabajo : 10 bar  
Temperaturas : Máx +120°C / Mín -15°C  
: Máx ACS + 80°C

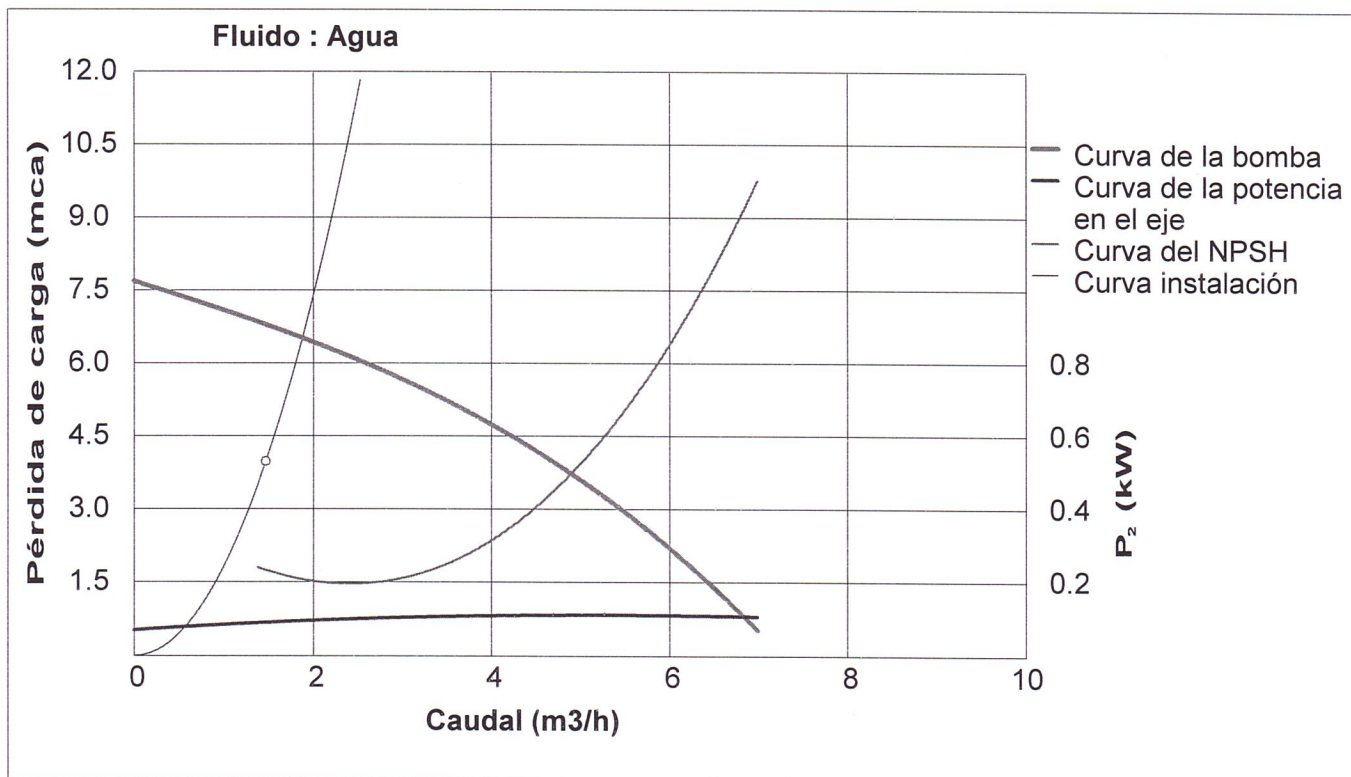
| lo mm | l1 mm | b1 mm | b2 mm | h mm  | h1 mm | PESO kg | P. Tarifa 2015 : 505.00 Euros |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------------------------------|
| 180.0 | 275.0 | 54.0  | 54.0  | 275.0 | 24.0  | 7.9     | Iva no incluido (22/09/15)    |

Fecha : 19/10/2015  
Oferta :  
Proyecto :  
Referencia :

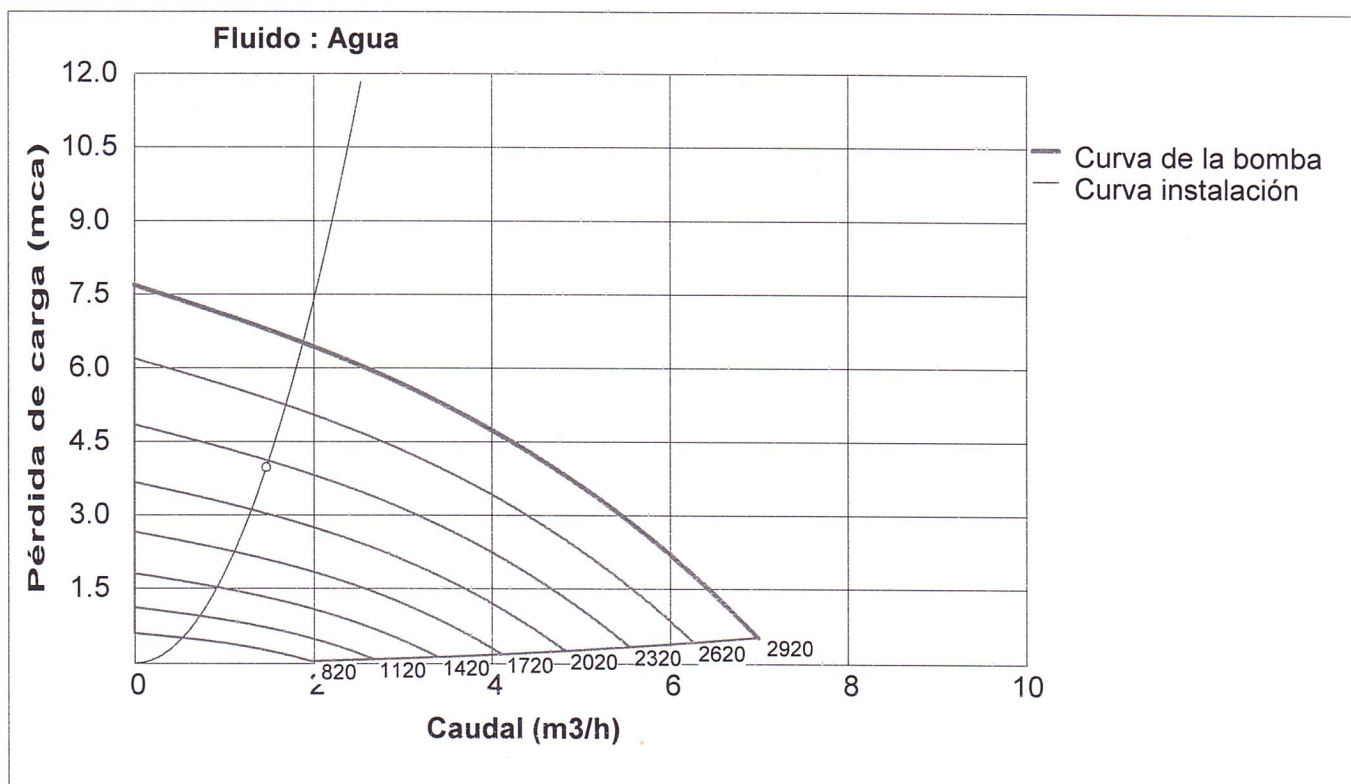
Empresa :  
A la atención de :  
Dirección :  
Localidad :

SEDICAL - GRAFICA DE LA BOMBA SEDICAL - MODELO SAP 25/8 T

### CURVA DE LA BOMBA CON EL RODETE Ø 78



### CAMPO DE TRABAJO CON RODETE Ø 78 Y VARIADOR DE FRECUENCIA





Fecha : 19/10/2015  
Oferta :  
Proyecto :  
Referencia :

Empresa :  
A la atención de :  
Dirección :  
Localidad :

## SEDICAL - HOJA TÉCNICA DE LA BOMBA SIM 50/150.1-0.25/K

### Descripción del producto

En todos los sistemas de calefacción, climatización, agua caliente sanitaria, agua, agua de condensados, agua glicolada hasta el 50%, otros medios sin aceites minerales o abrasivos.

Calidad del agua: Libre de sustancias sólidas abrasivas o no, cristalizadas o mezclas químicas y químicamente neutras.

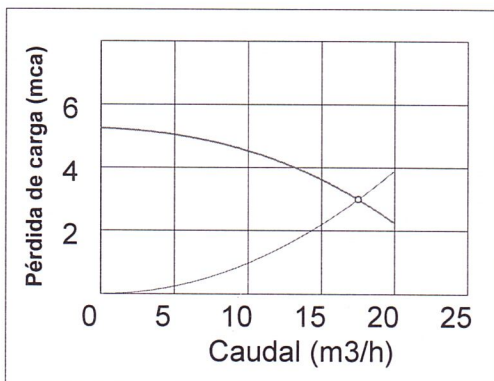
### Datos requeridos

Uso : CALEFACCIÓN  
Fluido : AGUA  
Rotor : SECO  
Tipo : SIMPLE  
Caudal : 17.5 m<sup>3</sup>/h  
Pérdida de carga : 3.0 mca  
Temperatura de trabajo : 90.0 °C  
Posición :

### Datos obtenidos Bomba

Modelo : SIM 50/150.1-0.25/K  
Rodete : Ø 125  
Caudal : 17.5 m<sup>3</sup>/h  
Pérdida de carga : 3.0 mca  
NPSH requerido : 3.6 m  
Nivel sonoro : 39 dB(A)  
Construcción : In-line

### Gráfica de la bomba

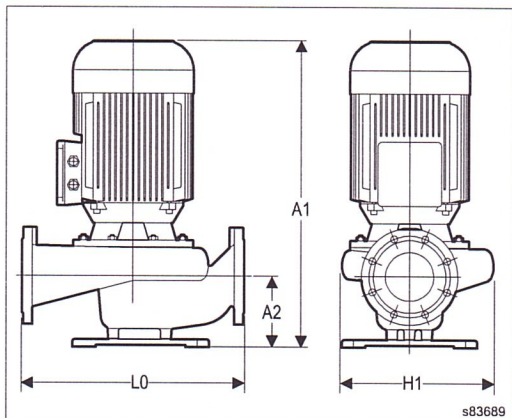


### Motor

Velocidad : 1450 rpm  
Potencia Nominal (Pn) : 0.25 kW  
Protección : IP 54  
Clase de aislamiento : F  
Consumo máx. 3x400 V : 0.8 A  
Consumo máx. 3x230 V : 1.4 A  
Potencia del eje (P2) : 0.22 kW  
Potencia consumida (P1) : 0.32 kW  
Rendimiento motor : 69.00 %  
Rendimiento bomba : 65.24 %  
Rendimiento global : 45.01 %

Los motores monofásicos, de consumo superior a 3 amperios y los motores trifásicos, tienen que ser protegidos exteriormente contra sobrecargas de intensidad, sobretensiones mínimas y caídas de fase.

### Dimensiones y pesos



### Características técnicas

Cuerpo de la bomba : GG 20  
Eje : AISI 329  
Cierre mecánico : Carbón / Carb. silicio  
Juntas : EPDM  
Impulsor : GG 20  
Conexiones : Bridas: ISO 7005  
DN 1: 50 mm DN 2: 50 mm  
Presión de trabajo : 10 bar.  
Temperaturas : Máx +120°C / Mín -15°C  
Máx ACS + 80°C

| Lo mm | H1 mm | A1 mm | A2 mm | PESO kg |
|-------|-------|-------|-------|---------|
| 280.0 | 210.0 | 408.0 | 93.0  | 24.0    |

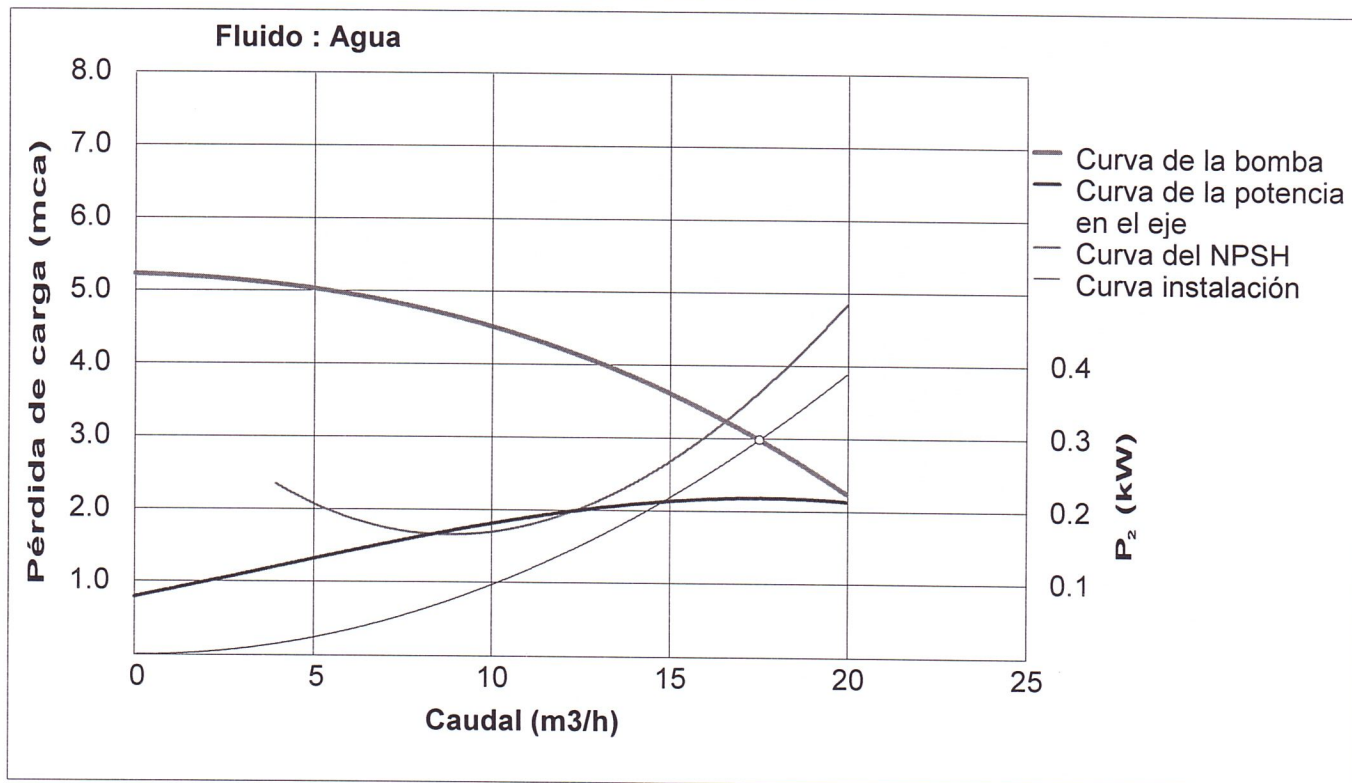
P. Tarifa 2015 : 824.00 Euros  
Iva no incluido (22/09/15)

Fecha : 19/10/2015  
Oferta :  
Proyecto :  
Referencia :

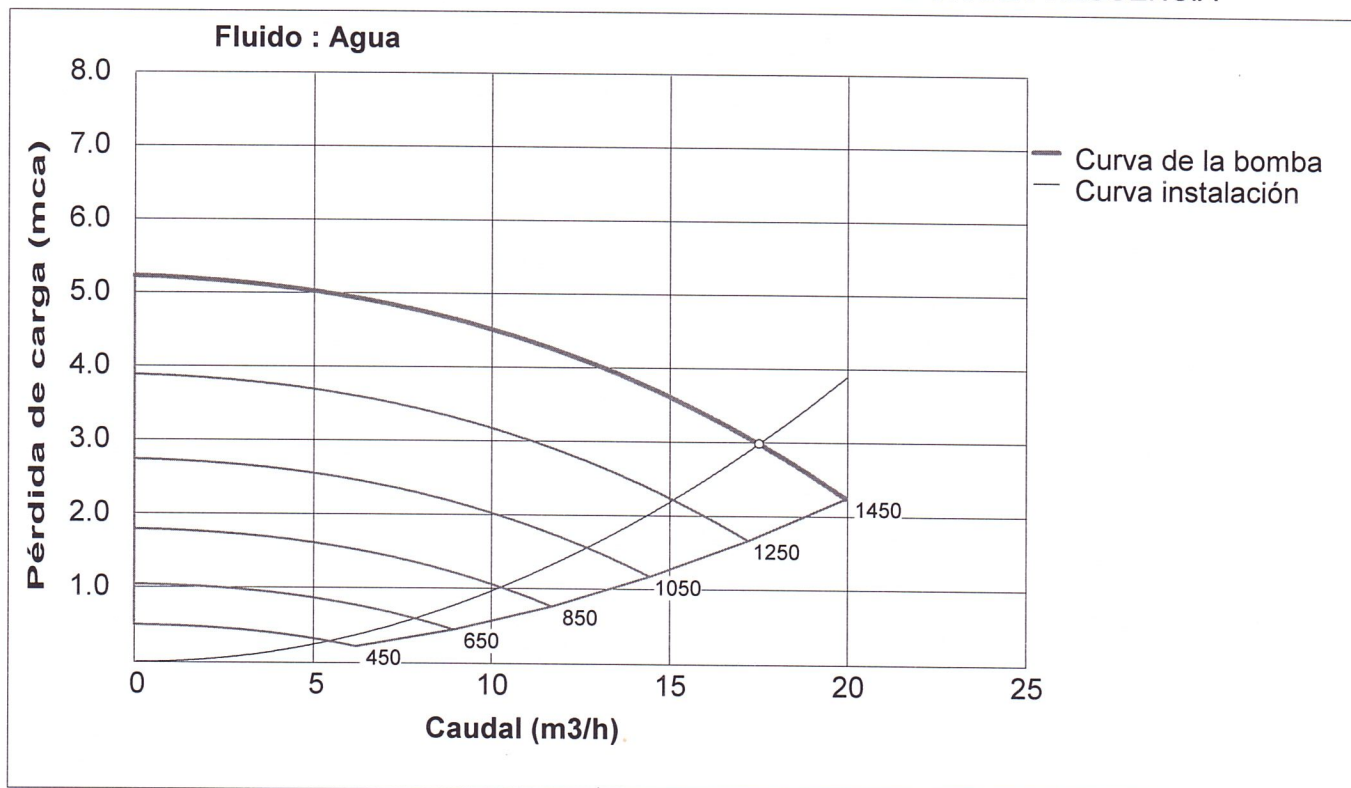
Empresa :  
A la atención de :  
Dirección :  
Localidad :

SEDICAL - GRAFICA DE LA BOMBA SEDICAL - MODELO SIM 50/150.1-0.25/K

### CURVA DE LA BOMBA CON EL RODETE Ø 125



### CAMPO DE TRABAJO CON RODETE Ø 125 Y VARIADOR DE FRECUENCIA





Fecha : 19/10/2015  
Oferta :  
Proyecto :  
Referencia :

Empresa :  
A la atención de :  
Dirección :  
Localidad :

## SEDICAL - HOJA TÉCNICA DE LA BOMBA SAP 25/8 T

### Descripción del producto

Bomba de circulación para ACS de rotor seco, con una temperatura máxima de funcionamiento de 80°C, aunque se recomienda no sobrepasar los 60°C por los efectos negativos de la calcificación, salvo en cortos procesos. Bomba para instalaciones de calefacción o climatización, tanto domésticas como industriales, con temperaturas entre -15 y 120°C.

Calidad del agua: Doméstica potable, libre de sustancias abrasivas o no, cristalizadas o mezclas químicas y químicamente neutras.

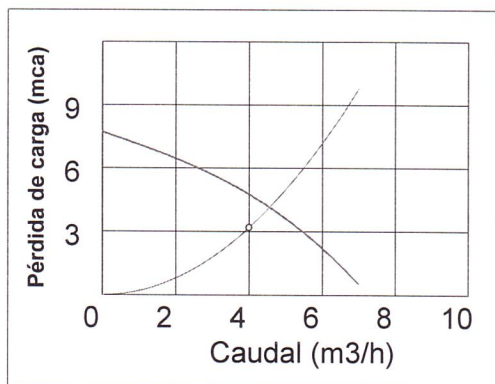
### Datos requeridos

Uso : CALEFACCIÓN  
Fluido : AGUA  
Rotor : SECO  
Tipo : SIMPLE  
Caudal : 4.0 m<sup>3</sup>/h  
Pérdida de carga : 3.2 mca  
Temperatura de trabajo : 90.0 °C  
Posición :

### Datos obtenidos Bomba

Modelo : SAP 25/8 T  
Rodete : Ø 78  
Caudal : 4.6 m<sup>3</sup>/h  
Pérdida de carga : 4.2 mca  
NPSH requerido : 3.1 m  
Nivel sonoro : 48 dB(A)  
Construcción : In-line

### Gráfica de la bomba

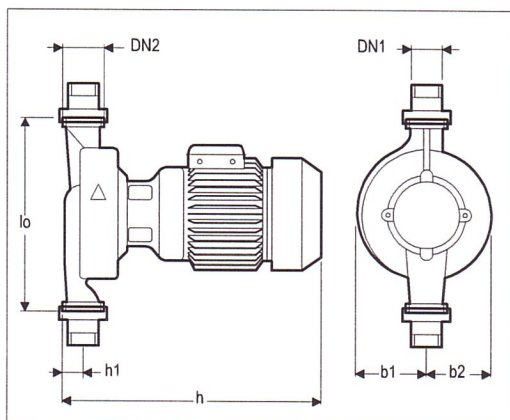


### Motor

Velocidad : 2920 rpm  
Potencia Nominal (Pn) : 0.19 kW  
Protección : IP 44  
Clase de aislamiento : F  
Consumo máx. 3x400 V : 0.7 A  
Consumo máx. 3x230 V : 1.2 A  
Potencia del eje (P2) : 0.11 kW  
Potencia consumida (P1) : 0.19 kW  
Rendimiento motor : 58.00 %  
Rendimiento bomba : 46.51 %  
Rendimiento global : 26.98 %

Los motores monofásicos, de consumo superior a 3 amperios y los motores trifásicos, tienen que ser protegidos exteriormente contra sobrecargas de intensidad, sobretensiones mínimas y caídas de fase.

### Dimensiones y pesos



### Características técnicas

Cuerpo de la bomba : Bronce  
Eje : Acero inoxidable  
Rodete : Termopolimero B  
Cierre mecánico : Cerámica / Carbono  
Junta : EPDM

Conexiones DN1 : R 1 " M  
Conexiones DN2 : R 1 ½" M

Presión de trabajo : 10 bar  
Temperaturas : Máx +120°C / Mín -15°C  
: Máx ACS + 80°C

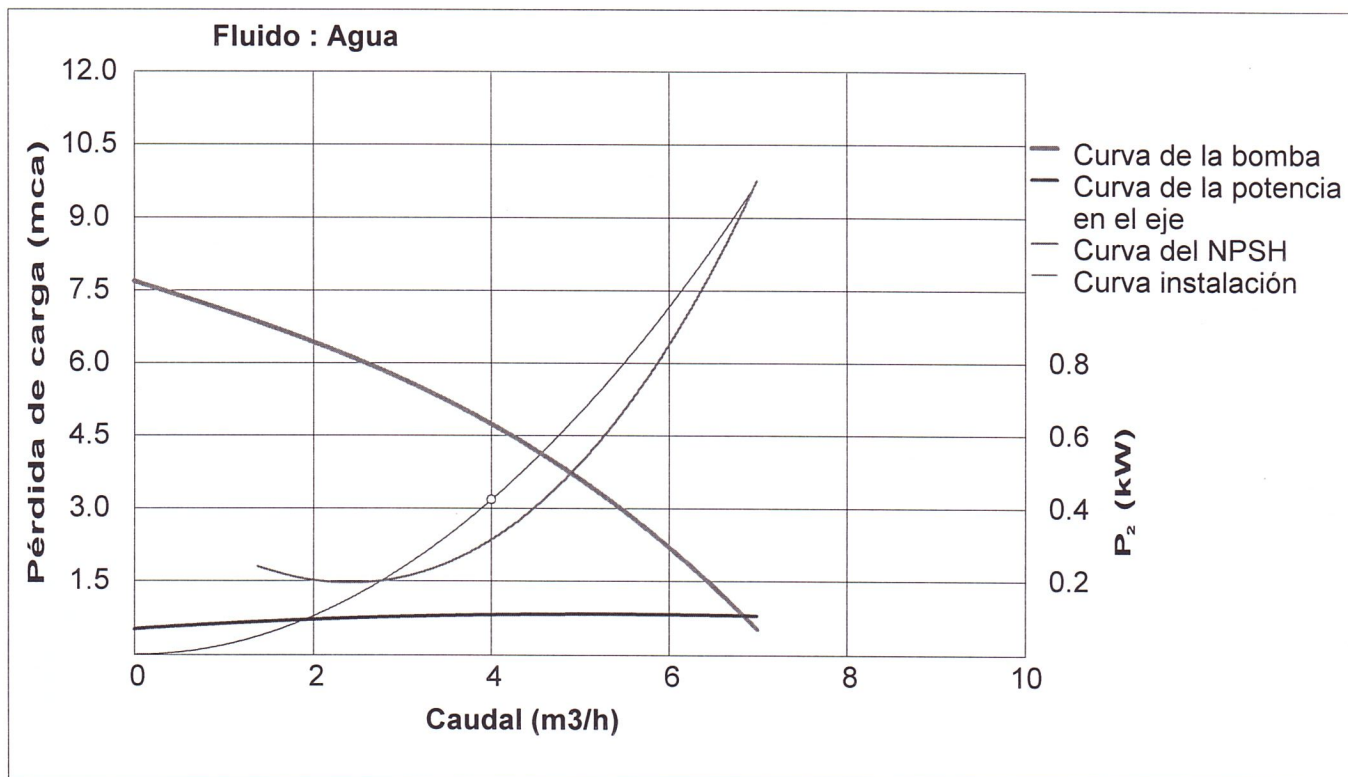
| lo mm | l1 mm | b1 mm | b2 mm | h mm  | h1 mm | PESO kg | P. Tarifa 2015 : 505.00 Euros |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------------------------------|
| 180.0 | 275.0 | 54.0  | 54.0  | 275.0 | 24.0  | 7.9     | Iva no incluido (22/09/15)    |

Fecha : 19/10/2015  
Oferta :  
Proyecto :  
Referencia :

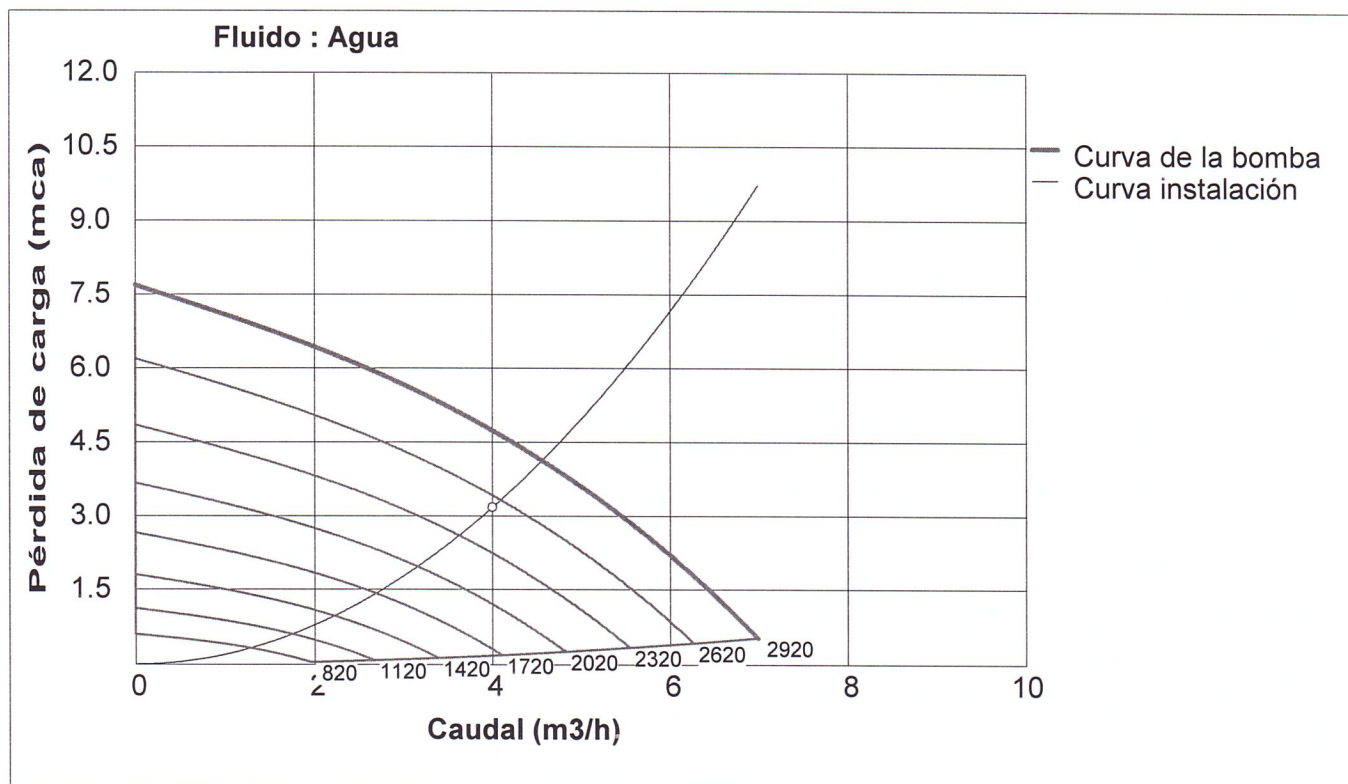
Empresa :  
A la atención de :  
Dirección :  
Localidad :

SEDICAL - GRAFICA DE LA BOMBA SEDICAL - MODELO SAP 25/8 T

### CURVA DE LA BOMBA CON EL RODETE Ø 78



### CAMPO DE TRABAJO CON RODETE Ø 78 Y VARIADOR DE FRECUENCIA





Fecha : 19/10/2015  
Oferta :  
Proyecto :  
Referencia :

Empresa :  
A la atención de :  
Dirección :  
Localidad :

## SEDICAL - HOJA TÉCNICA DE LA BOMBA SIM 65/190.1-0.75/K

### Descripción del producto

En todos los sistemas de calefacción, climatización, agua caliente sanitaria, agua, agua de condensados, agua glicolada hasta el 50%, otros medios sin aceites minerales o abrasivos.

Calidad del agua: Libre de sustancias sólidas abrasivas o no, cristalizadas o mezclas químicas y químicamente neutras.

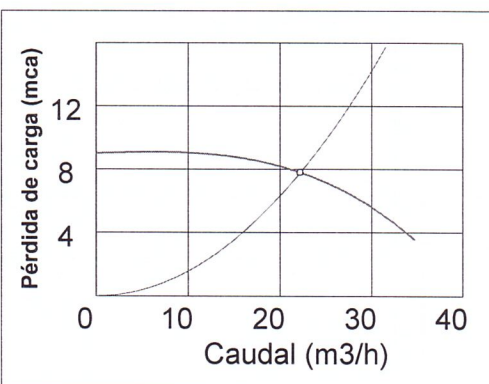
### Datos requeridos

Uso : CALEFACCIÓN  
Fluido : AGUA  
Rotor : SECO  
Tipo : SIMPLE  
Caudal : 22.3 m<sup>3</sup>/h  
Pérdida de carga : 7.8 mca  
Temperatura de trabajo : 90.0 °C  
Posición :

### Datos obtenidos Bomba

Modelo : SIM 65/190.1-0.75/K  
Rodete : Ø 167  
Caudal : 22.3 m<sup>3</sup>/h  
Pérdida de carga : 7.8 mca  
NPSH requerido : 1.9 m  
Nivel sonoro : 48 dB(A)  
Construcción : In-line

### Gráfica de la bomba

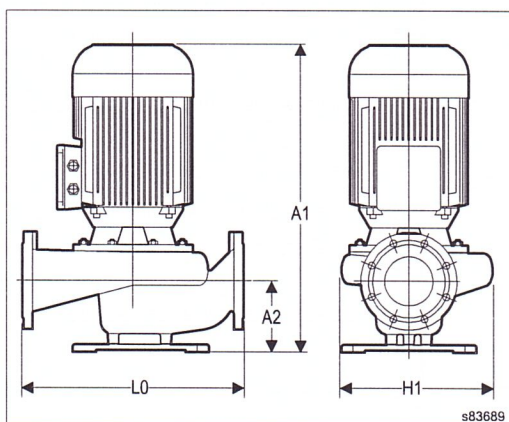


### Motor

Velocidad : 1450 rpm  
Potencia Nominal (Pn) : 0.75 kW  
Protección : IP 54  
Clase de aislamiento : F  
Consumo máx. 3x400 V : 2.0 A  
Consumo máx. 3x230 V : 3.5 A  
Potencia del eje (P2) : 0.67 kW  
Potencia consumida (P1) : 0.85 kW  
Rendimiento motor : 78.00 %  
Rendimiento bomba : 71.04 %  
Rendimiento global : 55.41 %

Los motores monofásicos, de consumo superior a 3 amperios y los motores trifásicos, tienen que ser protegidos exteriormente contra sobrecargas de intensidad, sobretensiones mínimas y caídas de fase.

### Dimensiones y pesos



### Características técnicas

Cuerpo de la bomba : GG 20  
Eje : AISI 329  
Cierre mecánico : Carbón / Carb. silicio  
Juntas : EPDM  
Impulsor : GG 20  
  
Conexiones : Bridas: ISO 7005  
: DN 1: 65 mm DN 2: 65 mm  
  
Presión de trabajo : 10 bar.  
Temperaturas : Máx +120°C / Mín -15°C  
: Máx ACS + 80°C

| Lo mm | H1 mm | A1 mm | A2 mm | PESO kg |
|-------|-------|-------|-------|---------|
| 340.0 | 255.0 | 495.0 | 125.0 | 44.0    |

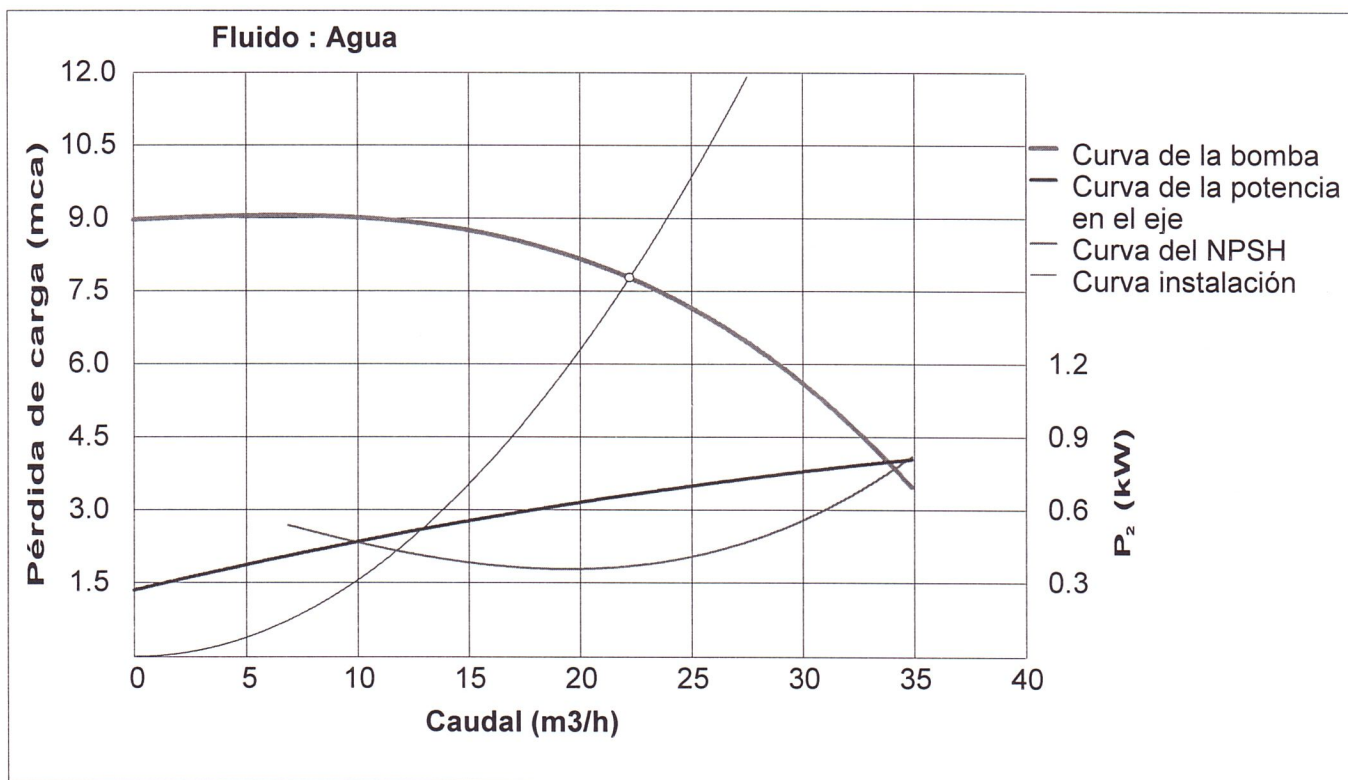
P. Tarifa 2015 : 1395.00 Euros  
Iva no incluido (22/09/15)

Fecha : 19/10/2015  
 Oferta :  
 Proyecto :  
 Referencia :

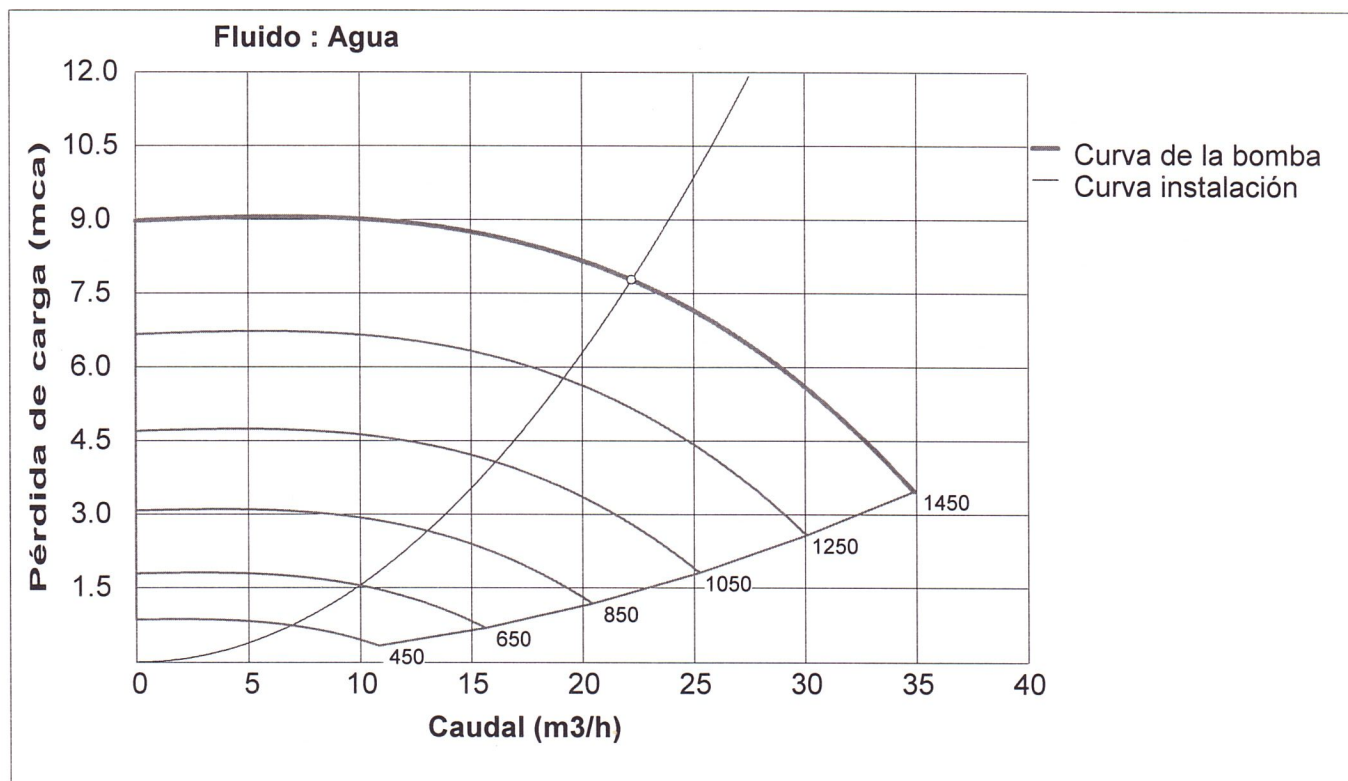
Empresa :  
 A la atención de :  
 Dirección :  
 Localidad :

SEDICAL - GRAFICA DE LA BOMBA SEDICAL - MODELO SIM 65/190.1-0.75/K

### CURVA DE LA BOMBA CON EL RODETE Ø 167



### CAMPO DE TRABAJO CON RODETE Ø 167 Y VARIADOR DE FRECUENCIA





Fecha : 19/10/2015  
Oferta :  
Proyecto :  
Referencia :

Empresa :  
A la atención de :  
Dirección :  
Localidad :

## SEDICAL - HOJA TÉCNICA DE LA BOMBA SDP 40/145.1-1.5/K

### Descripción del producto

En todos los sistemas de calefacción, climatización, agua caliente sanitaria, agua, agua de condensados, agua glicolada hasta el 50%, otros medios sin aceites minerales o abrasivos.

Calidad del agua: Libre de sustancias sólidas abrasivas o no, cristalizadas o mezclas químicas y químicamente neutras.

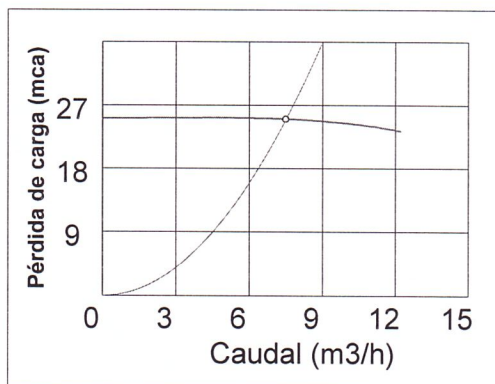
### Datos requeridos

Uso : CALEFACCIÓN  
Fluido : AGUA  
Rotor : SECO  
Tipo : DOBLE  
Caudal : 7.5 m<sup>3</sup>/h  
Pérdida de carga : 25.0 mca  
Temperatura de trabajo : 90.0 °C  
Posición :

### Datos obtenidos Bomba

Modelo : SDP 40/145.1-1.5/K  
Rodete : Ø 143  
Caudal : 7.5 m<sup>3</sup>/h  
Pérdida de carga : 25.0 mca  
NPSH requerido : 2.0 m  
Nivel sonoro : 57 dB(A)  
Construcción : In-line

### Gráfica de la bomba

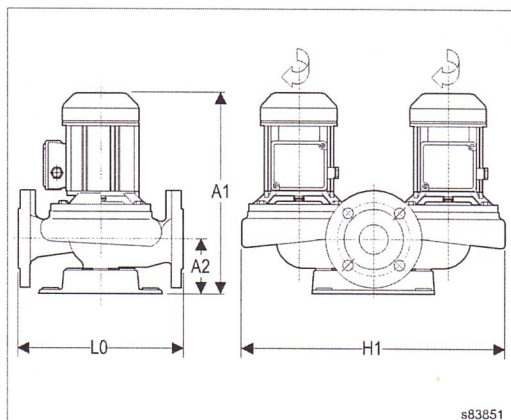


### Motor

Velocidad : 2900 rpm  
Potencia Nominal (Pn) : 1.50 kW  
Protección : IP 54  
Clase de aislamiento : F  
Consumo máx. 3x400 V : 3.3 A  
Consumo máx. 3x230 V : 5.7 A  
Potencia del eje (P2) : 1.07 kW  
Potencia consumida (P1) : 1.32 kW  
Rendimiento motor : 81.00 %  
Rendimiento bomba : 47.96 %  
Rendimiento global : 38.85 %

Los motores monofásicos, de consumo superior a 3 amperios y los motores trifásicos, tienen que ser protegidos exteriormente contra sobrecargas de intensidad, sobretensiones mínimas y caídas de fase.

### Dimensiones y pesos



### Características técnicas

Cuerpo de la bomba : GG 20  
Eje : AISI 329  
Cierre mecánico : Carbón / Carb. silicio  
Juntas : EPDM  
Impulsor : NORYL GFN 2  
  
Conexiones : Bridas: ISO 7005  
: DN 1: 40 mm DN 2: 40 mm  
  
Presión de trabajo : 10 bar.  
Temperaturas : Máx +100°C / Mín -15°C  
: Máx ACS + 80°C

| Lo mm | H1 mm | A1 mm | A2 mm | PESO kg |
|-------|-------|-------|-------|---------|
| 250.0 | 465.0 | 451.0 | 116.0 | 71.0    |

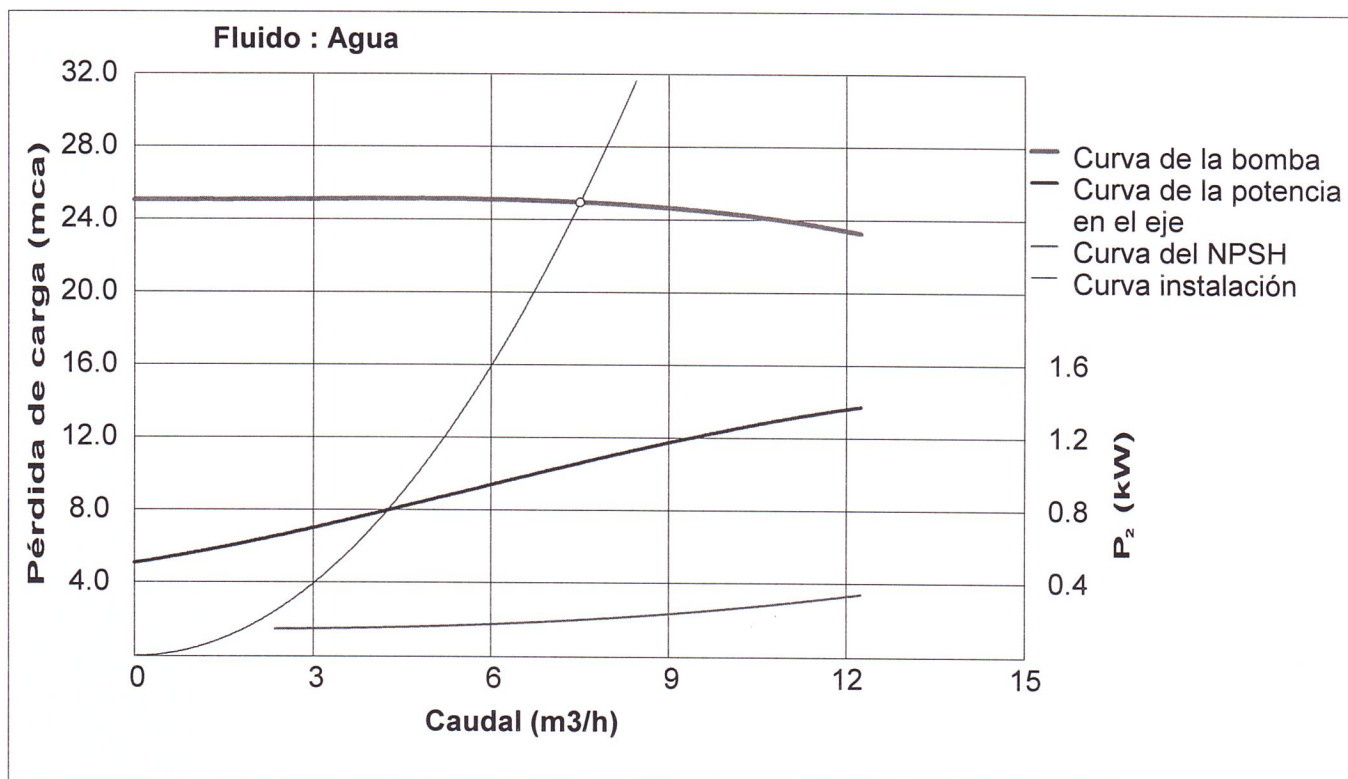
P. Tarifa 2015 : 2725.00 Euros  
Iva no incluido (22/09/15)

Fecha : 19/10/2015  
Oferta :  
Proyecto :  
Referencia :

Empresa :  
A la atención de :  
Dirección :  
Localidad :

SEDICAL - GRAFICA DE LA BOMBA SEDICAL - MODELO SDP 40/145.1-1.5/K

### CURVA DE LA BOMBA CON EL RODETE Ø 143



### CAMPO DE TRABAJO CON RODETE Ø 143 Y VARIADOR DE FRECUENCIA

